



**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO DE GRADO**



ESTUDIANTE: SUAREZ VILLARRAGA Andrés Felipe
CÓDIGO: 065081054
CEDULA: 1032438701
TELÉFONO DE CONTACTO: 3107779927
CORREO ELECTRÓNICO:
andresf.suarezv@unilibrebog.edu.co

ESTUDIANTE: QUINTERO BELTRAN Sebastián
CÓDIGO: 065081048
CEDULA: 1030588295
TELÉFONO DE CONTACTO: 3166184026
CORREO ELECTRÓNICO:
sebastian.quinterob@unilibrebog.edu.co

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO PARA CEMENTACIÓN GASEOSA
A NIVEL DE LABORATORIO**

DIRECTOR: BOHORQUEZ AVILA Carlos Arturo
PROFESIÓN: Ingeniero Mecánico
CORREO ELECTRÓNICO: carlosa.bohorqueza@unilibrebog.edu.co

AUTOR 1

AUTOR 2

DIRECTOR

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. ANTECEDENTES	7
2.1 CARBURIZACIÓN GASEOSA DE ACEROS UTILIZANDO ALCOHOLES.....	7
2.3 ATMÓSFERAS PARA NITROCARBURACIÓN AUSTENITICA.....	8
2.4 EQUIPOS DE CEMENTACIÓN GASEOSA.....	9
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS.....	12
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
6. MARCO REFERENCIAL.....	13
6.1 MARCO TEÓRICO.....	13
6.1.1 CEMENTACIÓN GASEOSA	13
6.1.2 ATMÓSFERAS GENERADAS POR GOTEO.....	14
6.1.3 COMPORTAMIENTO DE LOS ALCOHOLES	14
6.1.4 Hornos Industriales	18
7. MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	29
8. MARCO METODOLOGICO	30
8.1 DISEÑO DEL HORNO.....	30
8.1.1 Parámetros De diseño.....	30
8.2 SELECCIÓN DEL DISEÑO MEDIANTE QFD.	30
8.2.1 QFD.....	31
8.2.2 QFD 2	36
8.2.3 QFD 3	37
8.3 DISTRIBUCIÓN DE LA CÁMARA Y PAREDES DEL HORNO.....	39
8.4. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS PAREDES DEL HORNO.....	39
8.5 CÁLCULO TÉRMICO DE LOS ESPESORES DE PARED	41
8.5.1 Ubicación de materiales seleccionados para las paredes.....	42

8.5.2	Cálculo de las pérdidas de calor en el horno	43
8.6	DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO	50
8.6.1	Dimensionamiento de las paredes	50
8.6.2	Dimensionamiento de cámara	51
8.6.3	Dimensionamiento y material de la recámara	52
8.6.3	Dimensiones externas del horno	54
8.7	CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	54
8.7.1	ECUACIONES PARA CÁLCULO	55
8.8	SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	58
8.8.1	Selección del sensor	58
8.8.2	Selección de la termocupla	59
8.8.3	Selección del flujometro	59
8.9	ESTRUCTURA METÁLICA	60
8.10	DISEÑO DE PUERTA	60
8.11	SELECCIÓN DEL MOTOR Y LA HÉLICE	61
8.12	CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL HORNO	64
8.12.1	Partes Metálicas.....	64
8.12.2	Paredes aislantes y resistencias	65
8.12.3	Montaje de los sistemas de ingreso de probetas alcoholes y desfogue del horno	67
8.12.4	Montaje del motor y la hélice	68
8.12.5	Montaje de la recamara	68
8.12.6	Instalación del sistema de control, sistema eléctrico del motor	69
8.12.7	Instalación del tanque de alcoholes y tubo de alimentación.....	69
8.13	Pruebas del horno y el sistema de goteo, con carga	69
8.14	Resultados.....	73
8.15	Planos	77
8.16	Manual de funcionamiento y mantenimiento	78
9	CONCLUSIONES.....	79
10	BIBLIOGRAFIA.....	80

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Imagen del equipo tamaño laboratorio para tratamientos térmicos con atmósfera controlada [1].....	9
Ilustración 2 . Hornos de solera móvil y fija. [5]	20
Ilustración 3. Bóveda de Arco. [10]	20
Ilustración 4. Bóveda suspendida. [10]	21
Ilustración 5. Tipos de puertas para el horno. [5]	22
Ilustración 6. Horno del tipo “Dentro-Fuera”. [11]	23
Ilustración 7. Horno continuo con descarga por un extremo. [11]	24
Ilustración 8. 1) Horno radiante de resistencia no metálica, 2) horno de crisol con resistencia metálica, 3) horno de cámara con resistencia metálica. [11]	25
Ilustración 9. Horno de resistencia con calentamiento indirecto. [11].....	26
Ilustración 10. Resistencias en el interior de un horno. [4].....	27
Ilustración 11. Distribución de la recámara y paredes del horno.....	39
Ilustración 12. Manta cerámica. Abarephor Ltda. http://www.abarephor.com/	40
Ilustración 13. Distribución de los materiales del revestimiento Fuente: Autores del proyecto	42
Ilustración 14. Calor en el centro del alambre	43
Ilustración 15. Esquema del modelo de transferencia de calor Fuente: Autores del proyecto	45
Ilustración 16. Dimensiones paredes Fuente: Autores del proyecto	51
Ilustración 17. Dimensiones cámara Fuente: Autores del proyecto	52
Ilustración 18. Tapa recamara Fuente: Autores del proyecto.....	53
Ilustración 19. Recamara en acero inoxidable Fuente: Autores del proyecto	54
Ilustración 20 Equipo Maxthermo MC 5438	59
Ilustración 21 Flujometro Dwyer modelo RMA-151-ss	60
Ilustración 22 Boceto de puerta.....	61
Ilustración 23. Estructura metálica Fuente. Autores del proyecto	65
Ilustración 24 Mantas cerámicas y ladrillos refractarios Fuente: Abarephor	66
Ilustración 25 Cámara interna del horno Fuente: Autores del proyecto.	66
Ilustración 26 Montaje sistemas de ingreso y purga Fuente: Autores del proyecto.	67
Ilustración 27 Motor y Hélice Fuente: Autores del proyecto	68
Ilustración 28.	68
Ilustración 29 Instalación tanque y manguera de alimentación	69
Ilustración 30 Preparación de las probetas	70
Ilustración 31 Preparación sistema de Goteo	71

Ilustración 32 Inserción de probetas	72
Ilustración 33 Extracción de probetas	72
Ilustración 34 micrografía a 50x del acero 8620 cementado	73
Ilustración 35 micrografía a 100x del acero 8620 cementado	74
Ilustración 36 micrografía a 200x del acero 8620 cementado	74
Ilustración 37 micrografía a 500x del acero 8620 cementado	75
Ilustración 38 micrografía a 800x del acero 8620 cementado	76
Ilustración 39 Mediciones Espesor de la Capa Cementada en acero 8620	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características del Horno	32
Tabla 2. Clasificación Requerimientos del cliente	32
Tabla 3. Matriz Ponderación requerimientos del cliente vs requerimientos del cliente	33
Tabla 4. Ponderación requerimientos del Cliente vs requerimientos del cliente....	34
Tabla 5. Requerimientos de diseño.....	35
Tabla 6. Matriz Ponderación requerimientos de diseño vs requerimientos de diseño	36
Tabla 7. Ponderación requerimientos de diseño vs requerimientos de diseño.....	37
Tabla 8. Matriz requerimientos de diseño vs requerimientos del cliente alternativa 1.....	38
Tabla 9. Características del Horno	39
Tabla 10. Matriz requerimientos de diseño vs requerimientos del cliente alternativa 2.....	39
Tabla 11. Características del Horno	40
Tabla 12. Matriz requerimientos de diseño vs requerimientos del cliente alternativa 3.....	40
Tabla 13. Propiedades de los materiales de las paredes	44
Tabla 14. Dimensiones y conductividad de materiales.....	49
Tabla 15. Conductancia térmica por Contacto	50
Tabla 16. Coeficiente de transferencia de calor h	51
Tabla 17. Emisividad de superficies	52
Tabla 18. Medición capa cementada.....	77
Tabla 19. Durezas en la capa cementada	78

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se mostrara el desarrollo del proyecto diseño y construcción de un horno de cementación gaseosa por alcoholes, que trabaja en un rango de 600°C a 1000°C, controlado por un sistema de programación para hacer tratamientos a los aceros en el laboratorio de tratamientos térmicos de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Libre.

Dicho proyecto se lleva a cabo por la necesidad de disponer en el laboratorio de ingeniería mecánica, de un horno que opere con un rango de temperatura superior a lo que se alcanza con los hornos que están en la universidad y que además se puedan hacer prácticas a nivel de investigación, enfocándose en el proceso de cementación por alcoholes.

La aplicación de los tratamientos térmicos en materiales metálicos o aleaciones, permite lograr una transformación de las estructuras y fases, todo con el objetivo de mejorar determinadas propiedades en el desempeño de un elemento. Según las características de cada material, las transformaciones se producirán a menores o mayores rangos de temperatura, velocidades de enfriamiento, velocidades de calentamiento, tiempos de permanencia, etc. Por este motivo, es necesaria la disponibilidad de un equipo que además de alcanzar estos rangos de transformación, permita controlar el proceso de una manera eficaz y automática.

Se pretende que este dispositivo colabore en el trabajo de experimentación y de inicio a un nuevo enfoque a nivel institucional en el área de tratamientos térmicos, facilitando las investigaciones y aportando de forma directa al desarrollo dentro del pensum de ingeniería mecánica de la universidad Libre.

2. ANTECEDENTES

2.1 CARBURIZACIÓN GASEOSA DE ACEROS UTILIZANDO ALCOHOLES

En ingeniería una parte fundamental es sin lugar a dudas el área de tratamientos térmicos, ya que a partir de éste, junto con una necesidad identificada, es donde se desarrolla la fabricación de una pieza o máquina mejorando sus propiedades mecánicas como su dureza superficial, su resistencia al desgaste y la corrosión entre otras, por alguno de estos métodos. El proceso de carburización gaseosa tuvo inicio a mediados del siglo XX, este tratamiento térmico ha sido estudiado por distintos Autores tales como (Wyss, 1963, 1978 y 1979; Main, 1980; Béguin, 1981; Slycke y Sproge, 1988; Holm, 1989; Lanham, 1997; Sullivan 1997), en su estudio hablan que este método es una de las mejores alternativas respecto a técnicas como la carburización en fase sólida, carburización en fase líquida, y la carburización gaseosa por generación endotérmica.

La carburización con alcoholes, desde sus inicios, fue bautizada como gaseosa por goteo de alcoholes Drip feed (Wyss, 1963, 1978 y 1979) debido a que el método típico de ingreso del alcohol al horno es el goteo; sin embargo, por la metodología utilizada en el presente artículo el nombre más preciso es el de carburización gaseosa con alcoholes.

Desde mediados de los años ochenta la carburización gaseosa con alcoholes ha sido estudiada por los centros de investigación. En la Universidad Nacional, se dio inicio a esta investigación con el diseño y construcción de un horno a escala para carburización gaseosa con alcoholes. El horno se construyó como una réplica a menor escala de los hornos industriales usados para estos procesos. Con ese equipo se han desarrollado varios trabajos (Nieto, 1978; Rodríguez y Junca, 1984; Quijano, 1989; Meléndez, 1993; Vargas y Fajardo, 1997; Bohórquez, 2001); tendientes a adaptar tecnología y a estudiar la forma como influyen las variables del proceso.

A través de esos trabajos se identificaron algunas mezclas de metanol e isopropanol que presentaron buenos resultados; también se encontró que el método de seguimiento de la carburización midiendo la temperatura de rocío no es válido sino hasta dos horas después de iniciado el tratamiento y que los elementos aleantes al acero pueden ayudar o retrasar la carburización, etc.

2.2 PROCESO DE NITROCARBURACIÓN AUSTENITICA

El proceso consiste en un tratamiento termoquímico que comprende la difusión de carbono y nitrógeno desde la superficie de materiales ferrosos con el propósito de obtener una capa formada por la combinación de estos dos elementos. Esta capa en la cual el cambio químico producido modifica el campo de estabilidad de la

austenita, y que además sirve para disminuir la temperatura desde la cual se puede realizar el enfriamiento rápido con el propósito de transformar la austenita en martensita. Las temperaturas usuales en las que se realiza el proceso oscilan entre los 700°C y los 820°C, entonces el tratamiento se hace en un estado de austenización parcial o total del acero lo que causa un comportamiento diferente a los procesos convencionales de carbunitruración que se realizan a temperaturas superiores. Los procesos de nitrocarburation se dividen en dos grandes grupos: Nitrocarburation ferrítica en baños de sales y nitrocarburation gaseosa.[2]

Existen referencias de procesos industriales que aplican esta técnica, La empresa *Huyton Heat Treatments Ltda.* ha desarrollado tres procesos comerciales de Nitrocarburation Austenítica gaseosa que se realizan en hornos eléctricos con capacidad de realizar el temple en agua ó aceite, con atmósferas que utilizan un gas portador de Nitrógeno y Metanol enriquecido con Amoníaco que son las fuentes de Nitrógeno y Carbono.[3]

Los procesos se hacen en cuatro partes:

- Carbonitruración a temperaturas que superan los 700°C.
- Disminución de la temperatura hasta 700°C y sostenimiento durante varias horas
- Temple en aceite desde los 700°C para transformar la zona que soporta la capa blanca de Austenita a Martensita.
- En algunos casos se realizan tratamientos posteriores para transformar la Austenita retenida en Martensita o en bainita dependiendo de la aplicación que se le quiera dar a la pieza, esto se obtiene realizando un tratamiento subcero donde se lleva la pieza a temperaturas comprendidas entre los -70°C y los -120°C ó con un revenido por encima de la temperatura de transformación Ms, normalmente en el rango de 300°C y 400°C seguido de un enfriamiento al aire.

2.3 ATMÓSFERAS PARA NITROCARBURACIÓN AUSTENITICA.

El requerimiento básico de las atmósferas gaseosas para Nitrocarburation es suministrar Nitrógeno y Carbono simultáneamente a la superficie de materiales ferrosos para producir la fase ϵ . La generación de atmósferas obtenidas únicamente por el goteo de líquidos tiene un campo de aplicación amplio, ofrece la ventaja de sustituir el Amoníaco como fuente de Nitrógeno. Cuando se trata de tener un solo compuesto orgánico como fuente de Carbono y Nitrógeno es común recurrir a la mezcla de distintos componentes, puede llevarse a cabo conjuntamente en el mismo líquido o separadamente, cada uno de ellos con una función específica en la mezcla, para proceder a la regulación de la cantidad aportada según las necesidades de cada fase del proceso.

Los compuestos orgánicos que contienen Nitrógeno y que han sido utilizados como portadores de éste en los procesos de Nitrocarburation, cabe destacar: Anilina, Piridina, Etanolamina, Trietanolamina, Urea y Formamida. Las diferencias, en cuanto a composición química y estructura molecular, de estos compuestos nitrogenados hace que se presenten variaciones notables en su comportamiento en el horno. En consecuencia, las características de las atmósferas generadas se diferencian grandemente, principalmente en cuanto a las posibilidades de regulación y a la eficacia de la incorporación de nitrógeno y carbono.

En la presente investigación se utilizan sustancias orgánicas tales como alcoholes, Trietanolamina y Urea, para producir la atmósfera deseada. La ventaja de este proceso radica fundamentalmente en el bajo costo de los equipos e insumos utilizados. Los alcoholes empleados son el metanol y el isopropanol, los cuales generan en gran medida el carbono necesario para obtener las microestructuras deseadas. El metanol actúa como gas portador y el isopropanol como activador. [4]

2.4 EQUIPOS DE CEMENTACIÓN GASEOSA

En algunos procesos de carburización gaseosa con alcoholes requiere de tres procesos que son: preparación de la atmósfera o de la mezcla gaseosa a utilizar, proceso de carburización y seguimiento del proceso por el análisis de los gases de salida.

A continuación, expondremos cada uno de estos procesos de forma muy básica tomando en cuenta un equipo de laboratorio que se encuentra en la universidad nacional y que fue diseñado por alumnos de la maestría de materiales y procesos como tesis de grado.

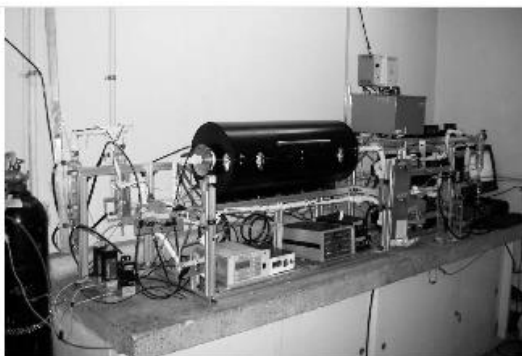


Ilustración 1. *Imagen del equipo tamaño laboratorio para tratamientos térmicos con atmósfera controlada [1]*

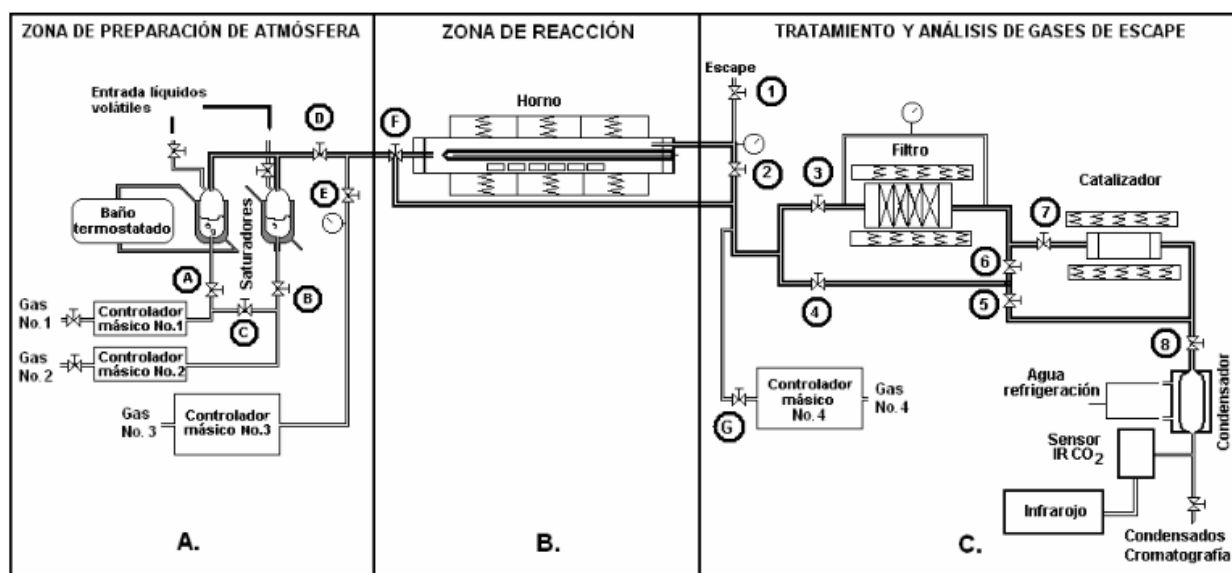


Figura 1 Diagrama general del equipo tamaño laboratorio para tratamientos térmicos con atmósfera controlada. [1]

2.4.1 Zona de preparación de atmósferas

En la Figura 1A se muestra la disposición de los componentes de esta zona. Se aprecia que se dispuso de tres entradas para gas, cada una controlada a través de tres controladores de flujo máscico, dos de ellos de marca Aalborg de referencia AFC2600, que pueden proveer caudales a condiciones normales de 100 mL/min ($1,67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$) y 68 mL/min ($1,13 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$) de nitrógeno, respectivamente. El otro controlador, de marca Brooks de referencia 5850E, puede manejar un caudal a condiciones normales de 480 mL/min ($8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$) de nitrógeno.

2.4.2 Zona de reacción

Esta sección (Figura 1B) inicia con una válvula de tres vías que permite hacer un by-pass al reactor o dar el ingreso de los gases al mismo. La tubería que transporta los gases se une a una brida de acero inoxidable refrigerada, por la cual se hace el empalme entre el reactor de la misma sinterizada con la tubería metálica.

2.4.3 Zona de tratamiento y análisis

En esta parte del equipo (Figura 1C), los gases de salida son transportados por conductos de acero inoxidable 316 con calefacción hacia un panel de ocho válvulas de aguja que permite enviarlos a un segundo filtro o a un catalizador, o directamente a los elementos de detección. [1]

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Muchos de los elementos de máquinas, herramientas, equipos y demás piezas en acero que actúan bajo condiciones de desgaste necesitan de procesos que aumenten su dureza superficial sin modificar la tenacidad del núcleo, para aumentar el tiempo de servicio. Para esto existen diversos tratamientos entre los cuales se destacan los de cementación que se dividen en diversos tipos. [1]

Entre los diversos tratamientos de cementación, los procesos en atmósfera gaseosa son los más utilizados en los talleres de tratamientos térmicos, ya que es posible conseguir de manera práctica, económica y sencilla piezas de acero capaces de soportar los difíciles esfuerzos solicitados. Por lo tanto es de mucha importancia contar con un equipo que permita realizar el tratamiento de cementación gaseosa por alcoholes de forma eficaz, practica y segura; todo esto para contribuir con el desarrollo tecnológico e investigativo del laboratorio de tratamientos térmicos dentro de la universidad Libre. [6]

4. JUSTIFICACIÓN

Colombia al no ser un país desarrollado industrialmente hablando se ha quedado atrás en el progreso de muchos procesos, es por esto que es fundamental incentivar desde las instituciones de educación, proyectos de investigación que contribuyan con el avance y las mejoras en los materiales para que permitan posicionar al país en un alto nivel de desarrollo.

Como estudiantes de la Universidad Libre de la Facultad de Ingeniería, se llevara a cabo la construcción de un horno de cementación gaseosa que generará el desarrollo de investigaciones y que a su vez permitirá el enfoque en el área de los materiales.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y Construir un horno para cementación gaseosa a nivel de laboratorio cuya atmósfera será generada por goteo de alcoholes.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los parámetros de diseño y mediante QFD “Quality Function Deployment” determinar la mejor alternativa.
- Diseñar y construir la alternativa seleccionada para cumplir con los requerimientos del equipo.
- Elaborar los planos, manuales de mantenimiento y operación del horno realizando pruebas preliminares

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hablará acerca de los principios básicos de la cementación y carbunitruración gaseosa y de algunos elementos que intervienen en su proceso como los hornos de resistencia y diversos aspectos.

6.1.1 CEMENTACIÓN GASEOSA

La cementación es un tratamiento térmico que se aplica a piezas de acero en el que se aporta carbono a la superficie mediante una atmósfera generada y que a su vez esta se impregna modificando su composición.

Entre los diversos tratamientos de cementación, los procesos en atmósfera gaseosa son los más utilizados en los talleres de tratamientos térmicos, ya que es posible conseguir de manera práctica, económica y sencilla piezas de aceros capaces de soportar los difíciles esfuerzos solicitados. Toda cementación, aún aquella que se realiza en medios sólidos o líquidos, tiene lugar mediante una fase gaseosa en la que se verifica el transporte de carbono desde el medio cementante al acero. El poder producir un gas cementante regulable, ha sido una necesidad técnica desde los comienzos del empleo de estos tratamientos, hasta llegar al sistema actual que presenta indudables y grandes ventajas, ya que las leyes de equilibrio químico y las teorías de difusión, resuelven los múltiples problemas de la cementación sobre bases científicas y no por razones de tipo práctico como ha ocurrido durante siglos. [5]

Para la obtención de una atmósfera gaseosa cementante se parte de dos gases:

a) Gas portador o gas endotérmico, se obtiene de una combustión incompleta de hidrocarburos; según ésta sea más o menos incompleta, la atmósfera que proporciona puede ser cementante, inerte u oxidante; será cementante si en ella hay más contenido de carbono que en la pieza a tratar, inerte si existe el mismo contenido, y oxidante si el contenido de carbono de la pieza es superior al de la atmósfera. El gas portador debe tener normalmente un contenido constante de carbono a lo largo de todo el proceso y para todos los hornos que existan en la instalación.

b) Gas cementante, para obtener en la atmósfera de cada horno y en cada momento del proceso el contenido adecuado de carbono, se adiciona al gas portador un gas de enriquecimiento o cementante, puede ser gas natural (metano) o el gas propano.

GAS ENDOTERMICO o PORTADOR + GAS CEMENTANTE = ATMOSFERA CEMENTANTE [6]

6.1.2 ATMÓSFERAS GENERADAS POR GOTEO

La generación de atmósferas obtenidas únicamente por el goteo de líquidos tiene un campo de aplicación amplio, ofrece la ventaja de sustituir el Amoníaco como fuente de Nitrógeno. Cuando se trata de tener un solo compuesto orgánico como fuente de Carbono y Nitrógeno es común recurrir a la mezcla de distintos componentes, puede llevarse a cabo conjuntamente en el mismo líquido o separadamente, cada uno de ellos con una función específica en la mezcla, para proceder a la regulación de la cantidad aportada según las necesidades de cada fase del proceso.

De los variados compuestos orgánicos que contienen Nitrógeno y que han sido utilizados como portadores de éste en los procesos de Nitrocarburation, cabe destacar: Anilina, Piridina, Etanolamina, Trietanolamina, Urea y Formamida. Las diferencias, en cuanto a composición química y estructura molecular, de estos compuestos nitrogenados hace que se presenten variaciones notables en su comportamiento en el horno. En consecuencia, las características de las atmósferas generadas se diferencian grandemente, principalmente en cuanto a las posibilidades de regulación y a la eficacia de la incorporación de nitrógeno y carbono. En relación con las características que deben satisfacer los compuestos nitrogenados utilizados en el horno, cabe destacar que deben ser adecuados para el goteo, en forma aislada o en combinación con otros, de características físicas y químicas estables, de fácil consecución y que no ofrezcan peligro en cuanto a la toxicidad y reacciones explosivas durante su empleo.

6.1.3 COMPORTAMIENTO DE LOS ALCOHOLES

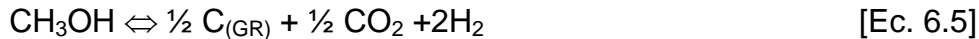
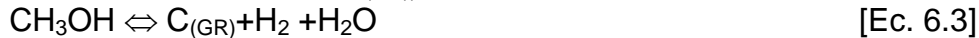
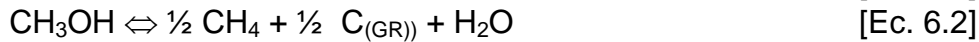
En presente investigación se utilizan sustancias orgánicas tales como alcoholes, Trietanolamina y Urea, para producir la atmósfera deseada. La ventaja de este proceso radica fundamentalmente en el bajo costo de los equipos utilizados e insumos utilizados.

Los alcoholes más utilizados son el metanol y el isopropanol, los cuales generan en gran medida el carbono necesario para obtener las microestructuras deseadas. El metanol actúa como gas portador y el isopropanol como activador. A continuación se presenta en forma más detallada el comportamiento de cada uno de ellos.

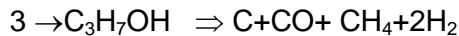
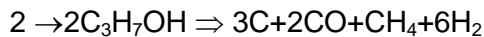
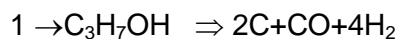
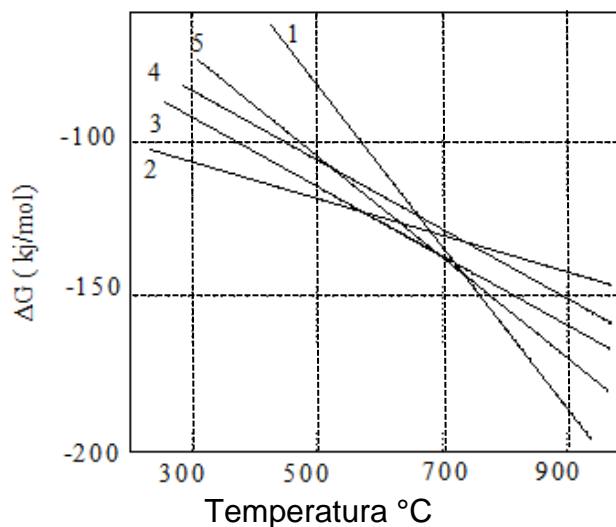
6.1.3.1 METANOL

Para comprender el comportamiento del metanol es necesario utilizar el diagrama de Richarsond, este diagrama ilustra cómo se descompone el metanol y los posibles productos de la descomposición a diferentes temperaturas, los compuestos que se desea aparezcan durante el tratamiento son el CO y H₂, además de ciertas cantidades anhídrido carbónico, metano y vapor de agua. [4]

La pirolisis del metanol puede ocurrir de varias formas:



Por encima de los 700°C, los productos de la reacción de acuerdo con la reacción (1), son Hidrógeno y monóxido de Carbono, en este caso se presentan las siguientes reacciones adicionales: [4]



Grafica 1 Variación de La Energía Libre de Gibbs para Diferentes Reacciones de descomposición del Metanol [4]

Dependiendo de la termodinámica y la cinética del sistema, alguna de estas reacciones prevalecerá sobre las demás. Una de las condiciones para que ocurra una reacción es que el cambio en la energía libre de Gibbs ΔG sea negativa, además, la reacción que puede ocurrir a una determina temperatura es la que tenga menor valor de ΔG , las curvas de energía libre se presentan en la Gráfica 8 y muestran cómo por encima de los 700°C es posible obtener una mezcla de gases exenta de CO_2 , CH_4 y C_{gr} a las temperaturas del tratamiento. [4]



La reacción que más contribuye a la deposición sobre el acero es la del monóxido de Carbono con el Hidrógeno (Ec. 6.8), ya que su velocidad de reacción es aproximadamente 40 veces más rápida que la producida por la descomposición del CO y del CO₂. [4]

El empleo del Metanol como líquido para el goteo ofrece la posibilidad de generar una atmósfera de bajo contenido de metano (el cual es producto de la reacción de descomposición), y de composición reproducible que actúa como portadora, el potencial de Carbono puede regularse por la cantidad de Metanol goteado dentro de ella, sin embargo, cuando se trabaja a temperaturas de 850°C o menores el Metanol puede precipitar carboncillo si la velocidad de goteo es elevada; en cualquier caso el empleo de Metanol puro o de una mezcla de Metanol pueden generar los potenciales de Carbono suficientes para la incorporación al material. [4]

El empleo del Metanol puede generar problemas de disociación cuando las temperaturas del tratamiento son bajas. Las condiciones de incorporación son muy distintas en aceros de cementación, de resistencia o de herramientas, por esta razón es conveniente precisar las características de la atmósfera que se deriva de la aplicación de los líquidos de goteo. [4]

6.1.3.2. ISOPROPANOL

La utilización de isopropanol como líquido orgánico capaz de generar atmósferas carburizantes que brinden una cantidad de átomos de Carbono suficientes para producir un mayor potencial de Carbono respecto al producido por el metanol a una misma temperatura y con niveles de goteos aceptables en cuanto a costo y efectividad, permiten que sea empleado ya sea puro o diluido con agua.

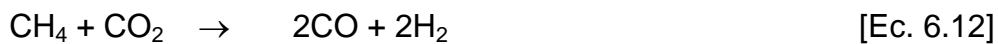
El isopropanol es un alcohol secundario y su fórmula puede ser escrita de varias maneras: [4]



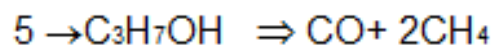
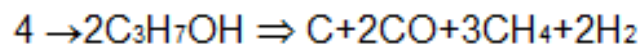
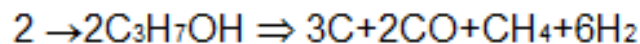
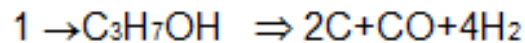
A temperaturas de tratamiento superiores a 850°C, el isopropanol puro introducido en el horno se fracciona inmediatamente produciendo la siguiente reacción primaria: [4]

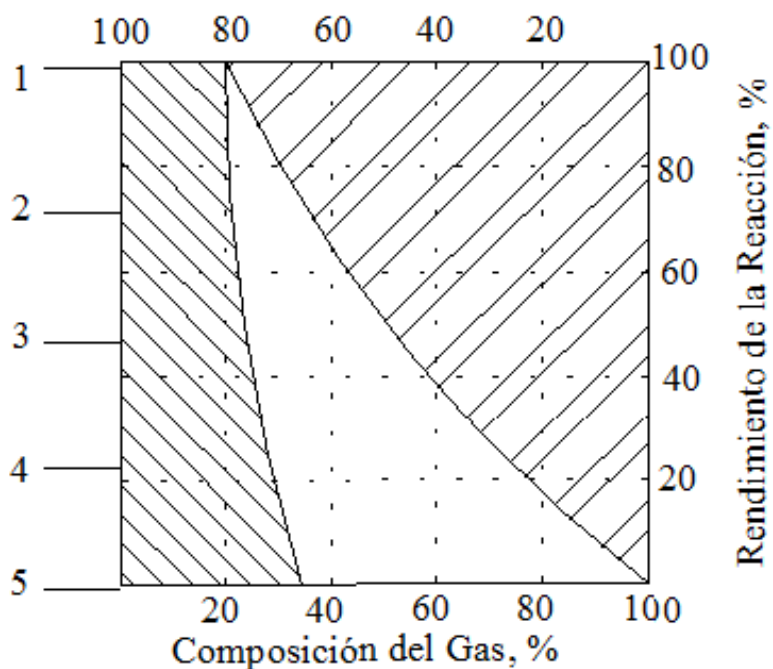


El análisis de gases de los productos de la combinación indican que el fraccionamiento del metano es muy lento, sin embargo, los productos de las reacciones del metano con el bióxido de Carbono, el agua o el Oxígeno producen Hidrógeno y monóxido de Carbono de acuerdo con las siguientes reacciones (Gráfica 2): [4]



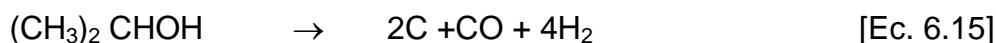
Esta secuencia se puede ver en la siguiente Gráfica.





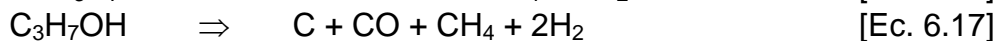
Grafica 2 Característica de la Descomposición del Isopropanol. [4]

Por lo tanto, si la temperatura se eleva o el tiempo se alarga, el fraccionamiento completo del isopropanol se puede representar mediante la siguiente reacción:



La reacción primaria produce una atmósfera con 66,4% CH_4 y 33,3% CO y el fraccionamiento total 80% H_2 y 20% CO . [4]

A medida que la temperatura disminuye el isopropanol puede descomponerse de la siguiente manera:



6.1.4 Hornos Industriales

Se entiende por hornos industriales los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente, ya sea de forma directa (inducción,

resistencia propia, etc.) o de forma indirecta por transmisión de calor de otros elementos (tubos radiantes, humos de combustión, resistencias eléctricas, etc.). El objeto de este calentamiento puede ser muy variado, por ejemplo:

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformación posterior, facilitando así las futuras operaciones de deformación por flexión, forja, extracción, estampación o laminación.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades.
- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita frecuentemente operando a temperatura superior a la del ambiente. [7] [8]

6.1.4.1 Partes principales de los hornos.

Los hornos que se dividen de acuerdo a los fines con que fueron ideados y, por lo tanto, tienen sus estructuras apropiadas para cada caso, tienen sin embargo, toda una serie de elementos constructivos comunes, aunque con diseños distintos.

La parte principal de cada horno es la zona de trabajo, donde se efectúa el proceso tecnológico prefijado. En la mayoría de los casos, dicha zona se separa del ambiente por la bóveda, las paredes y la solera, construidas de materiales refractarios y termoaislantes. En su base tienen los cimientos, contruidos de materiales comunes.

6.1.4.1.1 Cimientos.

Los cimientos son la parte del horno que se apoya directamente en el suelo reconocido como apto para ése fin y que sostienen todas las demás partes. Por supuesto, lo único que se requiere de los cimientos es su absoluta solidez como para aguantar toda la carga estática de las partes del horno dispuestas encima, así como eventualmente las posibles cargas dinámicas, sin sufrir deterioro alguno. Los cimientos deben tener dimensiones suficientes, como para que la presión contra el suelo no pase los valores admisibles.

6.1.4.1.2 Plataforma.

La plataforma es el plano inmediatamente superior a los cimientos del horno y el inferior de la mampostería. Para su construcción se emplean distintos materiales: ladrillos refractarios y termoaislantes. El tipo de construcción y el espesor de la plataforma se dictan por la estructura del horno. Su fin principal es dar una superficie sobre la cual pueden ser dispuestas todas las partes inferiores del horno.

6.1.4.1.3 Solera.

La solera es la parte del horno sobre la cual se disponen los materiales a calentarse. Como soporta la carga del material debe ser suficientemente sólida, y químicamente estable. Existen soleras fijas y móviles.



Ilustración 2 . Hornos de solera móvil y fija. [5]

6.1.4.1.4 Paredes

Las paredes rodean la zona de trabajo del horno. Generalmente ellas soportan la bóveda. Deben proteger la zona interna de las pérdidas de calor, no permitir el escape ni succión del aire del interior del horno. La cara más importante de las paredes es la interior. Debe ser pareja, limpia y tener juntas delgadas.

6.1.4.1.5 Bóveda.

La bóveda es una de las partes más importantes del horno. Generalmente soporta temperaturas muy altas y se calienta mucho. Como los gases calientes en la parte superior de la zona de trabajo se encuentran bajo una presión superior a la normal, la bóveda debe ser impermeable para con los mismos.

Existen cuatro tipos de bóvedas:

- 1.- planas
- 2.- de arco
- 3.- semicirculares,
- 4.- suspendidas.

Las bóvedas de arco son las más frecuentes.

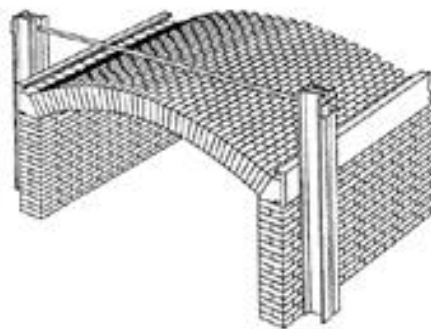


Ilustración 3. Bóveda de Arco. [10]

Las bóvedas suspendidas se construyen con ladrillos perfilados que se fijan en las estructuras metálicas suspendidas en estribos especiales. El uso de las bóvedas suspendidas permite disminuir el consumo de calor para calentar la mampostería, porque, primero el volumen de la misma es menor y, segundo, es posible el empleo de materiales refractarios más livianos. Sus inconvenientes estriban en la construcción más complicada que la de otras bóvedas.

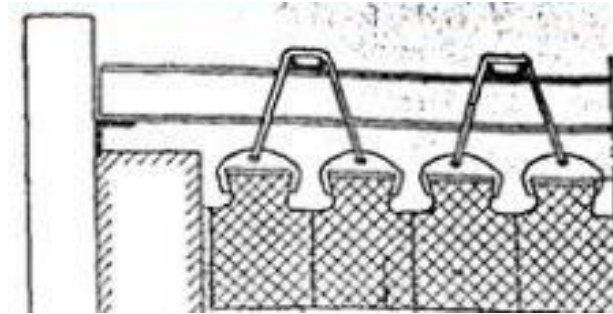


Ilustración 4. Bóveda suspendida. [10]

6.1.4.1.6 Canales

Los canales sirven para conducir los gases hasta la chimenea y suelen ser de sección rectangular y de techo plano o abovedado.

6.1.4.1.7 Juntas térmicas.

Las juntas térmicas deben compensar la dilatación volumétrica de la mampostería por el calor. Asegurando la integridad de la mampostería, las juntas a la vez no deben rebajar la solidez de la misma y ser causa de escapes de gases, de metales o escorias.

El ancho y la disposición de las juntas se determinan en concordancia con el calentamiento de una parte dada del horno y de los coeficientes de dilatación de los materiales por el calor.

6.1.4.1.8 Estructura metálica

Se llama esqueleto a la estructura metálica que sujeta todas las partes del horno y absorbe los esfuerzos que se originan en la mampostería tanto durante su ejercicio, como posteriormente en los procesos de su trabajo.

El esqueleto transmite estos esfuerzos a los cimientos. Las partes del esqueleto se aprovechan también para montar sobre ellas los accesorios del horno, como: marcos, tapas, puertas, ventanas, mecheros, toberas, etc.

6.1.4.1.9 Puertas del horno.

Las puertas de los hornos deben ser estancas, ligeras, sólidas y resistentes al calor así como también tener resistencia mecánica y duración. Permiten el paso para cargar y descargar los materiales.



Ilustración 5. Tipos de puertas para el horno. [5]

Las puertas pueden ser de tipo levadizo o bisagra, pero ambos tipos deben garantizar la mayor hermeticidad posible. Se componen de una o más piezas moldeadas; si son más de una se sujetan por tornillos, se recubre con el material refractario más adecuado. [9]

6.1.4.2 Hornos de Tratamientos Térmicos

Se utilizan para conferir una característica especial a la pieza a tratar, como pueden ser los tratamientos térmicos superficiales de cementación o de carbonitruración, o que afecten a toda la pieza como el templado, recocido, envejecido, revenido etc.

Hay diversos tipos de hornos para realizar tratamientos térmicos, los mismos que se diferencian entre sí ya que dependerán básicamente del tratamiento térmico específico a realizarse.

Se puede clasificar a los hornos de tratamiento térmico por la manipulación del material en el proceso mismos de calentamiento dentro del horno. Es así que se pueden distinguir dos tipos básicos de hornos:

- a) El horno “Dentro-Fuera” o tipo de horno de carga por lotes o intermitente, o periódico.
- b) El horno continuo.

La principal característica del horno “Dentro-Fuera” (Fig.7), es la temperatura constante, prácticamente, en todo su interior. Su principio básico es colocar la pieza en el horno en una posición determinada hasta que la carga se caliente a la temperatura requerida. Una vez que el proceso de calentamiento se ha completado, la carga se retira por la misma puerta por donde fue introducida en el horno.

En los hornos intermitentes deben distinguirse los procesos en que la temperatura de regulación del horno permanece prácticamente constante (hornos de tratamiento de normalizado, temple y revenido y hornos de recalentar para forja y estampación), de los procesos en que la temperatura del horno sigue un ciclo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento sin extraer la carga del interior del horno:

- En los primeros, al introducir la carga baja evidentemente la temperatura del horno, se enfría el revestimiento cediendo su calor a la carga y la energía cedida por los elementos calefactores se utiliza en calentar nuevamente el revestimiento y la carga hasta la temperatura de regulación del horno, cuyo valor de consigna ha permanecido constante.
- En los segundos, al introducir la carga, el horno está a baja temperatura y se calienta simultáneamente la carga y el revestimiento, con todos los elementos del interior del horno. Después de un periodo de empapado o mantenimiento a temperatura, se enfría la carga en el interior del horno, juntamente con el revestimiento. Es fundamental, por tanto, el calor almacenado por el revestimiento (durante el calentamiento y empapado) y cedido en el enfriamiento.

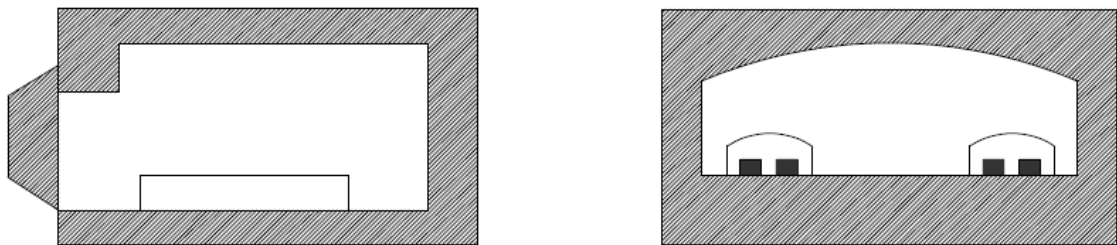


Ilustración 6. Horno del tipo “Dentro-Fuera”. [11]

Mientras que en los hornos continuos (Imagen 7), el material se desplaza hacia el interior del horno y a la vez se va calentando. Las formas de transportar la carga pueden ser varias ya que la solera puede ser fija o móvil, esta última conocida también como de carretón, o puede ser transportada por medio de la acción de un tornillo.

La temperatura en los hornos continuos es prácticamente constante en cada zona a lo largo del tiempo y la temperatura de la carga varía a lo largo del tiempo, pero se mantiene relativamente constante en todo el horno en un instante dado.

Cuando se trata de los hornos de combustión, las piezas a calentar están en contacto con los productos de la combustión que para ciertos casos es muy perjudicial, por lo que muchos hornos requieren una atmósfera especial para protección de las piezas, consiguiendo evitar la oxidación y la descarburización y se construyen con una envolvente exterior hermética al gas, que rodea al revestimiento refractario.

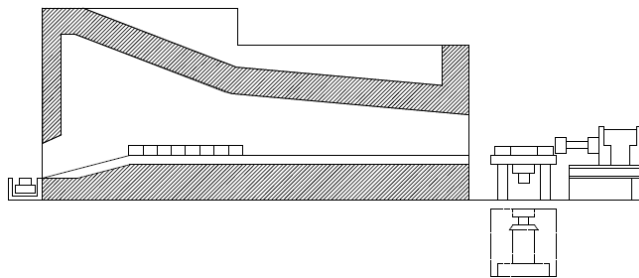


Ilustración 7. *Horno continuo con descarga por un extremo. [11]*

6.1.4.3 Hornos eléctricos.

En la actualidad este tipo de hornos son de uso muy extendido y con los sistemas de programación que se incorporan son muy útiles y fiables por su comodidad y fácil manejo.

La electricidad es un agente calefactor que permite el control más preciso en los hornos de tratamiento térmico, y consecuentemente, son los que más se usan, y tienen las siguientes ventajas:

- Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas hasta de 3500°C en algunos tipos de hornos eléctricos.
- Puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura, y mantener esta entre límites muy precisos, con regulaciones completamente automáticas.
- La carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible.
- Tienen mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos.
- Se instalan en espacio reducido.
- Su operación se realiza con mayor higiene que la de los otros tipos de hornos.

Las partes básicas de un horno eléctrico son:

- Cámara de calentamiento: es el espacio físico donde se coloca la pieza a calentar.
- Elementos eléctricos: son numerosos y son los responsables del calentamiento de la pieza, basándose en diferentes principios físicos.
- Revestimiento aislante: es necesario para minimizar las pérdidas de calor al ambiente.

El principio para el funcionamiento de un amplio conjunto de hornos industriales destinados a tratamientos térmicos es la conversión de energía eléctrica en calor, el mismo que se desarrolla por el paso de una corriente eléctrica a través de resistencias que funcionan como unidades de calentamiento, montadas de tal forma que mantienen fuera de contacto con la carga [10]

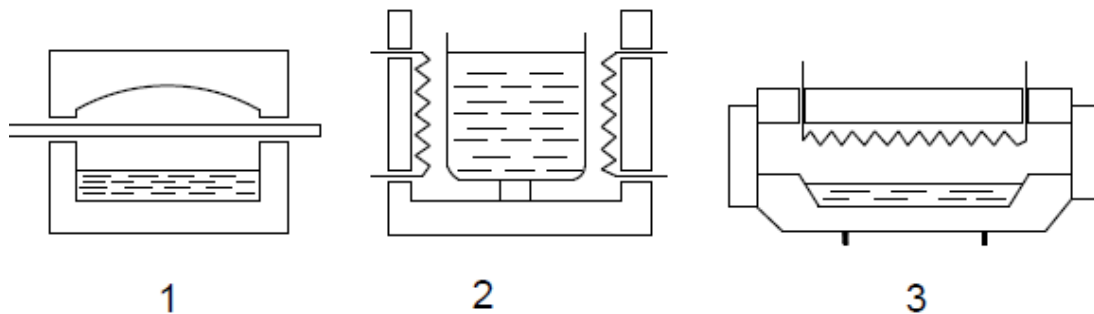


Ilustración 8. 1) Horno radiante de resistencia no metálica, 2) horno de crisol con resistencia metálica, 3) horno de cámara con resistencia metálica. [11]

6.1.4.4 Hornos de Resistencia.

Los hornos de resistencia se definen como aquellos que utilizan el calor disipado por efecto Joule en una resistencia óhmica, la misma que puede estar constituida por la carga que se va a calentar (hornos de calentamiento directo) o por resistencias adecuadas independientes de la carga (hornos de calentamiento indirecto), por las cuales circula corriente eléctrica.

En los hornos de calentamiento directo, el material se coloca entre dos electrodos (en contacto directo con ellos), ofreciendo una resistencia al paso de la corriente, y calentándose. Entre otras, estos hornos encuentran aplicación en la fabricación de electrodos de grafito, en el tratamiento térmico de metales y en hornos de sales para la cementación de aceros.

En los hornos de calentamiento indirecto, el material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma

adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes.

En la (Imagen 9), se destacan los elementos principales de un horno de resistencia de calentamiento indirecto y el curso del flujo térmico.

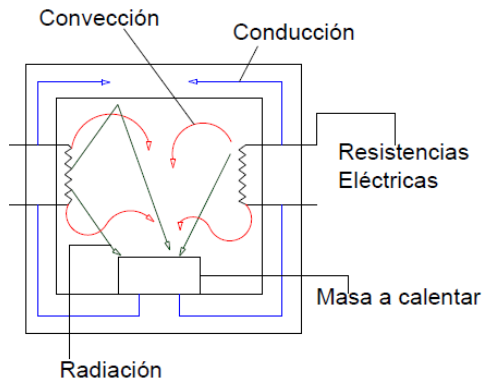


Ilustración 9. Horno de resistencia con calentamiento indirecto. [11]

a) Por conducción.

El calor absorbido por la superficie de la carga por radiación y/o convección pasa a su interior por conducción lo que exige un gradiente de temperatura, es decir, la temperatura en el centro de la carga será inferior a la de la superficie, no solamente durante el calentamiento (temperatura del horno mayor que la de la superficie de la carga), sino también durante una buena parte del mantenimiento a temperatura, hasta conseguir en la pieza la uniformidad de temperatura requerida.

b) Por convección

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado.

En los hornos eléctricos de tratamientos térmicos de baja y media temperatura (hasta 750 °C es frecuente realizar el calentamiento de la carga mediante una corriente de aire o atmósfera controlada a elevada temperatura, que sede calor a la carga por convección.

En los hornos con temperaturas más bajas, los coeficientes de transmisión elevados solamente se consiguen con velocidades muy altas en los gases del horno, porque la transmisión del calor por radiación a 537 °C es menor que 1/10 de la que se produce a 1024 °C. [11]

c) Por radiación.

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

Es frecuente afirmar que por encima de 700 °C el mecanismo de transmisión de calor por convección no es importante, mientras que por debajo de 700 °C se puede despreciar el mecanismo de radiación.

6.1.4.3 Resistencias eléctricas.

En la elaboración de las resistencias eléctricas se utilizan materiales que deben poseer, entre otras características, una elevada resistividad eléctrica, alta temperatura de fusión, y resistencia a la oxidación en caliente y a la corrosión en el ambiente gaseoso producto de las reacciones químicas en juego. El tipo de resistencia a escoger para un horno dado se halla ligado principalmente a la temperatura de trabajo de éste.



Ilustración 10. Resistencias en el interior de un horno. [4]

La disposición de las resistencias eléctricas dentro del horno no puede ser solamente en las paredes laterales sino que también pueden presentar resistencias colocadas en la parte posterior, parte inferior y superior del horno.

Se tienen:

- Aleaciones de base Ni-Cr.- De todas ellas la más utilizada en resistencias de hornos eléctricos es la 80 Ni- 20 Cr.
- Aleaciones ferríticas.- Son aleaciones Cr-Fe-Al.
- Otros materiales.- empleados sobre todo en hornos de vacío de alta temperatura, como el molibdeno, tántalo y tungsteno.
- Resistencias no metálicas.
- Tubos a base de carburo de silicio para temperaturas de hasta 1500 °C
- Silicato de molibdeno para temperaturas de hasta 1700 °C.
- Grafito y molibdeno (en pastillas, cilindros o granulados en tubos) para temperaturas de hasta 1800°C.

Las resistencias metálicas se utilizan en forma de hilos con diámetros variables de fracción de mm a unos 6 mm, comúnmente enrollados en forma helicoidal o en forma de cintas dispuestas en zig-zag.

Por su parte, las resistencias no metálicas están constituidas por astas (o tubos) fijados horizontalmente entre dos paredes del horno o verticalmente entre el suelo y la cubierta.

Hay que tomar en cuenta que el costo de una caloría producida por combustibles es muy bajo en comparación con una caloría procedente de la energía eléctrica, sin embargo para el presente estudio no representa mayor problema, por la disponibilidad que presenta la empresa [10]

7. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Nomenclatura y definiciones. Colombia: INCONTEC, 24/8/2005. (NTC736). Esta norma estandariza la nomenclatura en el sistema que se está trabajando.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Ladrillos y piezas refractarias moldeadas. Formas y dimensiones. Colombia: INCONTEC, 15/5/1974. (NTC804). Esta norma tiene por objeto establecer las formas y dimensiones de los ladrillos y piezas refractarias moldeadas, frecuentemente utilizados en el revestimiento y construcción de las diferentes partes de hornos industriales.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. Colombia: Resolución 898 de 1995 Ministerio del Medio Ambiente.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Resolución 909 del 5 de Junio del 2008 Ministerio del Medio Ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

8. MARCO METODOLOGICO

8.1 DISEÑO DEL HORNO

8.1.1 Parámetros De diseño

En esta sección se van a mostrar los parámetros básicos que se van a tener en cuenta a la hora de diseñar y construir el horno de cementación, además de seleccionar los criterios para las principales variables que van a intervenir en el mismo entre las cuales se destacan dimensiones, materiales de fabricación, además de variables fundamentales como la temperatura de operación del horno, ciclos de calentamiento, mantenimiento preventivo, tratamiento térmico a realizar, entre otras.

Por ende, el diseño del horno se va a llevar a cabo siguiendo una estructura fundamental en la cual se va a tener en cuenta tanto la parte térmica como la parte geométrica.

Los parámetros fundamentales que se tuvieron en cuenta para el diseño del horno de cementación son los siguientes:

- Selección del diseño mediante QFD
- Dimensiones del horno de cementación gaseosa con alcoholes.
- Temperatura de diseño
- Selección de materiales para las diversas partes del horno.
- Calculo de los subsistemas del horno

8.2 SELECCIÓN DEL DISEÑO MEDIANTE QFD.

Para seleccionar la mejor alternativa de diseño vamos a emplear la técnica de QFD analizando 3 alternativas de diseño y eligiendo la más idónea basándonos en los resultados que arroje los QFDs que se muestran a continuación:

8.2.1 QFD

En la siguiente tabla se puede observar las características de construcción de la alternativa de diseño número 1:

Tabla 1 Características del Horno

Características	
Sistema de Apertura	Vertical
Forma	Cilíndrica
Motor de ventilación	220 v de 80 rpm
Control	on/off
Alimentación del horno	Bifásico 110 V
Material tanques	Vidrio
Subsistemas	Tubo galvanizado y acero 1020
Estructura	Acero Inoxidable

Fuente: autores del proyecto

Requerimientos del Cliente

En la tabla número 2 se observan los requerimientos básicos y su porcentaje de calificación, basada en la importancia de cada uno, según los niveles de seguridad, forma, costos, etc.

Tabla 2 Clasificación Requerimientos del cliente

Clasificación	Requerimientos del cliente (RC)		Calificación Cliente
Funcional	1	Bajo consumo de energía.	80,00%
	2	Control y monitoreo constantes	85,00%
	3	Sistemas de regulacion y control	80,00%
	4	Altas temperaturas	80,00%
Físico	5	Forma de estructura	80,00%
	6	Dimensiones especificas	70,00%
	7	Diseño practico	90,00%
Manejo	8	Facil carga	80,00%
	9	Fácil de operar.	80,00%
Confiabilidad	10	Segura.	100,00%
	11	Vida útil prolongada.	80,00%
	12	Plan mantenimiento.	90,00%
	13	Resistencia a ciclos de operación constantes	90,00%
Económicos	14	Calidad	85,00%
	15	Buena relación costo/beneficio.	70,00%
	16	Bajos Costos de mantenimiento	70,00%

Fuente: autores del proyecto

En la tabla número 3 se puede observar una correlación entre el análisis de los requerimientos del cliente con una puntuación de 0 si no influye el uno en el otro y 1 si este influye, luego se ponderan y se obtienen los requerimientos más importantes y los menos relevantes.

Tabla 3 Matriz Ponderación requerimientos del cliente vs requerimientos del cliente

Puntuación	
No Influye	0
Si Influye	1

Y → X

Y influye en X

Matriz Ponderación De Requerimientos del Cliente																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total	Ponderación	Porcentaje
1	-	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	5	0,052083	5,21%
2	1	-	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	8	0,083333	8,33%
3	1	0	-	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,020833	2,08%
4	1	1	0	-	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	7	0,072917	7,29%
5	0	0	0	0	-	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0,031250	3,13%
6	0	0	0	0	1	-	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,031250	3,13%
7	0	0	1	0	1	1	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,041667	4,17%
8	1	0	1	0	0	1	0	-	0	1	0	0	0	1	0	0	5	0,052083	5,21%
9	1	1	0	1	0	0	0	0	-	1	0	1	0	0	0	0	5	0,052083	5,21%
10	1	1	0	1	0	0	0	1	1	-	0	1	1	1	0	1	9	0,093750	9,38%
11	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	-	1	1	1	1	1	8	0,083333	8,33%
12	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	-	1	1	1	1	9	0,093750	9,38%
13	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	-	1	0	1	7	0,072917	7,29%
14	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-	1	0	6	0,062500	6,25%
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	-	1	6	0,062500	6,25%
16	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	-	9	0,093750	9,38%
Total																96	1,000000	100,00%	

Fuente: autores del proyecto

En la siguiente tabla ponderamos los porcentajes obtenidos en la tabla anterior vs el porcentaje de calificación de importancia de la tabla 2, luego la diferencia entre el porcentaje obtenido y el porcentaje de la matriz de ponderación de requerimientos del cliente nos arroja como resultado una tolerancia de ponderación.

Tabla 4 Ponderación requerimientos del Cliente vs requerimientos del cliente

Clasificación	Requerimientos del cliente (RC)	%	Calificación Cliente	Ev. Ponderada	Tolerancia
Funcional	1 Bajo consumo de energía.	5,21%	80,00%	4,17%	1,04%
	2 Recursos de operación mínimos.	8,33%	80,00%	6,67%	1,67%
	3 Pocas piezas.	7,29%	70,00%	5,10%	2,19%
	4 Disminución del Tablero de operación. (Botones)	3,13%	80,00%	2,50%	0,63%
Físico	5 Resista las cargas requeridas, respecto a los ciclos.	3,13%	85,00%	2,66%	0,47%
	6 Apta para el entorno.	3,13%	70,00%	2,19%	0,94%
	7 Diseño atractivo.	4,17%	75,00%	3,13%	1,04%
Manejo	8 Comodidad-(Práctica).	5,21%	80,00%	4,17%	1,04%
	9 Fácil de operar.	5,21%	80,00%	4,17%	1,04%
Confiabilidad	10 Segura.	9,38%	90,00%	8,44%	0,94%
	11 Vida útil prolongada.	8,33%	85,00%	7,08%	1,25%
	12 Plan mantenimiento.	9,38%	80,00%	7,50%	1,88%
	13 Resistencia a cargas , y los ciclos.	7,29%	85,00%	6,20%	1,09%
Económicos	14 Calidad - bajo costo.	6,25%	85,00%	5,31%	0,94%
	15 Buena relación costo/beneficio.	6,25%	85,00%	5,31%	0,94%
	16 Repuestos fáciles de conseguir.	9,38%	80,00%	7,50%	1,88%

Fuente: autores del proyecto

Requerimientos de Diseño

La tabla 5 muestra los requerimientos que se van a tener en cuenta para el diseño del horno según sus características.

Tabla 5 Requerimientos de diseño

Clasificación	Requerimientos de diseño (RD)
Motor	1 Revoluciones
	2 Potencia
	3 Variador de velocidad
Fuerza	4 Inercia
	5 Fuerza de Gravedad
Dispositivos de Control	6 Monitor de dispositivos
	7 Interruptor sistemas de emergencia
Número de piezas	8 Móviles
	9 Estáticas
Materiales	10 Resistencia a la fatiga
	11 Resistencia a la corrosión
	12 Resistencia a la torsión
Parámetros Característicos	13 Grandes dimensiones
	14 Alta Fuerza

Fuente: autores del proyecto

En la tabla 6 se puede observar una correlación; esto se hace analizando los requerimientos de diseño entre ellos con una puntuación de 0 si no influye el uno en el otro y 1 si este influye, luego se ponderan y se obtienen los requerimientos más importantes y menos importantes.

Tabla 6 Matriz Ponderación requerimientos de diseño vs requerimientos de diseño

Puntuación			
No Influye	0	Y → X	Y influye en X
Si Influye	1		

Matriz Ponderación De Requerimientos de Diseño																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total	Ponderación	Porcentaje
1	-	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	9	0,102273	10,23%
2	1	-	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	7	0,079545	7,95%
3	1	1	-	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	6	0,068182	6,82%
4	1	1	1	-	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	0,068182	6,82%
5	1	1	1	1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0,056818	5,68%
6	1	1	1	0	0	-	1	0	0	0	0	0	0	1	5	0,056818	5,68%
7	0	0	0	0	0	1	-	0	0	0	0	0	0	1	2	0,022727	2,27%
8	1	0	0	0	0	1	1	-	1	1	0	1	0	0	6	0,068182	6,82%
9	0	0	0	1	1	0	0	1	-	1	0	1	0	0	5	0,056818	5,68%
10	1	1	1	1	1	1	0	1	1	-	0	1	0	1	10	0,113636	11,36%
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-	0	0	0	2	0,022727	2,27%
12	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	-	0	1	6	0,068182	6,82%
13	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	-	1	8	0,090909	9,09%
14	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	-	11	0,125000	12,50%
Total															88	1,000000	100,00%

Fuente: autores del proyecto

En la tabla 7 ponderamos los porcentajes obtenidos en la tabla 6 para poder observar los resultados de la matriz de la tabla anterior correspondiente a cada parámetro de diseño.

Tabla 7 Ponderación requerimientos de diseño vs requerimientos de diseño

Clasificación	Requerimientos de diseño (RD)		%
Motor	1	Revoluciones	10,23%
	2	Potencia	7,95%
	3	Corriente directa 110 V	6,82%
Temperatura	4	Temperatura de trabajo	6,82%
	5	Tiempo de calentamiento y enfriamiento	5,68%
Dispositivos de Control	6	Monitor de dispositivos	5,68%
	7	Interruptor sistemas de emergencia	2,27%
Número de piezas	8	Móviles	6,82%
	9	Estáticas	5,68%
Materiales	10	Resistencia a la fatiga	11,36%
	11	Resistencia a la corrosión	2,27%
	12	Resistencia a las altas temperaturas	6,82%
Parámetros Característicos	13	Bajas dimensiones	9,09%
	14	Altas temperaturas	12,50%

Fuente: autores del proyecto

En la siguiente tabla evaluamos los requerimientos de diseño vs los requerimientos de cliente relacionándolos de tal forma que si están altamente relacionados los calificamos con un 9, si están relacionados con 3 y si tienen baja relación con 1 (se emplean estos tres valores por facilidad de cálculo ya que estos son múltiplos de 3 y no nos va a generar confusiones).

Luego se suman los resultados de todas las ponderaciones y al compararlos con los otros 2 QFDs se elige el que tenga el valor más alto como alternativa de diseño.

Tabla 8 Matriz requerimientos de diseño vs requerimientos del cliente alternativa 1

Relaciones	9	Altamente relacionado
	3	Relacionado
	1	Baja relación

RC\RD	Matriz Requerimientos de diseño														Diseño 1				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5
1	9	9	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	3					
2	0,469	0,469	0,156	0,052	0,052	0,156	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,156	0,156					
3	9	9	9	9	3	3	9	1	1	1	1	1	1	1					
4	0,750	0,750	0,750	0,750	0,250	0,250	0,750	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083					
5	1	1	1	1	1	1	1	9	9	1	1	1	3	1					
6	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,656	0,656	0,073	0,073	0,073	0,219	0,073					
7	3	3	3	1	1	9	9	1	1	1	1	1	1	3					
8	0,094	0,094	0,094	0,031	0,031	0,281	0,281	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,094					
9	9	9	9	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	9					
10	0,281	0,281	0,281	0,094	0,094	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,281					
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3					
12	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,094					
13	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	3	1					
14	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,125	0,125	0,042	0,042	0,042	0,125	0,042					
15	1	1	1	1	1	1	1	9	9	1	1	1	9	1					
16	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,469	0,469	0,052	0,052	0,052	0,469	0,052					
17	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1					
18	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,156	0,156	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052					
19	1	1	1	1	1	9	9	1	1	3	3	3	1	3					
20	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,844	0,844	0,094	0,094	0,281	0,281	0,281	0,094	0,281					
21	3	3	3	3	3	3	3	1	1	9	9	9	9	3					
22	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,083	0,083	0,750	0,750	0,750	0,083	0,250					
23	3	3	3	3	3	9	3	1	1	3	3	3	3	3					
24	0,281	0,281	0,281	0,281	0,281	0,844	0,281	0,094	0,094	0,281	0,281	0,281	0,094	0,281					
25	3	9	3	3	3	3	3	1	1	9	3	9	1	3					
26	0,219	0,656	0,219	0,219	0,219	0,219	0,219	0,073	0,073	0,656	0,219	0,656	0,073	0,219					
27	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	9	3	3					
28	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,563	0,563	0,188	0,188					
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
30	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063					
31	3	3	3	3	3	9	3	3	1	3	3	3	1	1					
32	0,281	0,281	0,281	0,281	0,281	0,844	0,281	0,281	0,094	0,281	0,281	0,281	0,094	0,281					
TOTAL	3,09	3,53	2,78	2,43	1,93	4,32	3,59	2,41	2,22	2,95	2,89	3,32	1,95	2,30					

39,71

Fuente: autores del proyecto

8.2.2 QFD 2

En la siguiente tabla se puede observar las características de construcción de la alternativa de diseño numero 2:

Tabla 9 Características del Horno

Características	
Sistema de Apertura	Horizontal
Forma	Cubica
Motor de ventilación	110 de 40 rpm
Control	Tipo rampa
Alimentación del horno	Bifasico 220 V
Material tanques	Acero inoxidable
Subsistemas	Tubos inoxidables y acero inoxidable
Estructura	Lamina cold rolled

Fuente: autores del proyecto

Tabla 10 Matriz requerimientos de diseño vs requerimientos del cliente alternativa 2

Relaciones	9	Altamente relacionado
	3	Relacionado
	1	Baja relación

Matriz Requerimientos de diseño															Diseño 1				
RC\RD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5
1	9	0,469	0,469	0,156	0,052	0,156	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,156	3	0,156	3	0,156	
2	9	0,750	0,750	0,750	0,250	0,250	0,750	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	1	0,083	1	0,083	
3	1	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,292	0,656	0,073	0,073	0,073	0,073	0,656	9	0,073	9	0,073	
4	3	0,094	0,094	0,094	0,031	0,031	0,281	0,031	0,281	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	1	0,031	1	0,031	
5	9	0,281	0,281	0,281	0,094	0,094	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	3	0,031	3	0,031	
6	1	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,094	0,031	0,031	0,031	0,031	0,094	1	0,031	1	0,031	
7	1	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,250	0,250	0,042	0,042	0,042	0,042	0,375	6	0,042	6	0,042	
8	1	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,469	0,469	0,052	0,052	0,052	0,052	0,469	1	0,052	1	0,052	
9	1	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,469	0,156	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	1	0,052	1	0,052	
10	1	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,844	0,844	0,094	0,281	0,281	0,281	0,281	0,094	3	0,094	3	0,094	
11	3	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,750	0,250	0,083	0,083	0,750	0,750	0,750	0,083	9	0,083	9	0,083	
12	3	0,281	0,281	0,281	0,281	0,281	0,844	0,281	0,094	0,844	0,281	0,281	0,281	0,094	3	0,094	3	0,094	
13	3	0,219	0,073	0,219	0,073	0,219	0,219	0,656	0,219	0,656	0,656	0,219	0,219	0,073	9	0,073	9	0,073	
14	1	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,188	0,063	0,188	0,188	0,563	0,563	0,563	0,188	1	0,063	1	0,063	
15	1	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	1	0,063	1	0,063	
16	3	0,281	0,281	0,281	0,281	0,281	0,844	0,281	0,844	0,094	0,281	0,281	0,844	0,094	3	0,094	3	0,094	
TOTAL		3,09	2,95	2,78	2,28	1,93	5,14	3,91	2,88	3,99	3,32	2,89	3,45	3,01		2,30			

43,91

Fuente: autores del proyecto

8.2.3 QFD 3

En la siguiente tabla se puede observar las características de construcción de la alternativa de diseño numero 3:

Tabla 11 Características del Horno

Características	
Sistema de Apertura	Vertical
Forma	Cubica
Motor de ventilación	220 v de 40 rpm
Control	Tipo on-off
Alimentacion del horno	Bifásico 220 V
Material tanques	Plástico
Subsistemas	Tubos y acero cold rolled
Estructura	Lamina cold rolled

Fuente: autores del proyecto

Tabla 11 Matriz requerimientos de diseño vs requerimientos del cliente alternativa 3

Relaciones	9	Altamente relacionado
	3	Relacionado
	1	Baja relación

Matriz Requerimientos de diseño															Diseño 1				
RC\RD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5
1	9	0,469	0,156	0,052	0,052	0,156	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,156	0,156					
2	9	0,750	0,750	0,750	0,250	0,250	0,750	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083					
3	1	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,656	0,656	0,073	0,073	0,073	0,656	0,073					
4	3	0,094	0,094	0,094	0,031	0,031	0,281	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031					
5	9	0,281	0,281	0,281	0,094	0,094	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031					
6	1	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,188					
7	1	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	6	0,250	0,250	0,042	0,042	0,042	0,375					
8	1	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,469	0,469	0,052	0,052	0,052	0,469	0,052					
9	1	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,469	0,313	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052					
10	1	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,844	0,844	0,094	0,094	0,281	0,281	0,281	0,094					
11	3	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,750	0,250	0,083	0,083	0,750	0,750	0,750	0,083					
12	3	0,281	0,281	0,281	0,281	0,281	0,844	0,281	0,094	0,094	0,281	0,281	0,281	0,094					
13	3	0,219	0,219	0,219	0,219	0,219	0,219	0,219	0,073	0,073	0,656	0,219	0,656	0,073					
14	1	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,188	0,188	0,188	0,188	0,563	0,563	0,563	0,188					
15	1	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063					
16	3	0,281	0,281	0,281	0,281	0,281	0,844	0,281	0,281	0,094	0,281	0,281	0,281	0,094					
TOTAL	3,09	3,09	2,78	2,43	1,93	5,14	3,75	2,53	2,34	3,32	2,89	3,32	2,73	2,40					

41,74

Fuente: autores del proyecto

Analizando los resultados arrojados por los QFDs la alternativa que se seleccionó es la número 2 en la cual se especifica los siguientes criterios de diseño:

- La puerta de apertura lateral.
- Forma del horno cubica.
- Motor del ventilador de 40 rpm 110v monofásico.
- Control tipo.
- Alimentación del horno 220 v Bifásico.
- Tanque de almacenamiento en acero inoxidable
- Tubos de alimentación y hélice en acero inoxidable
- Estructura en acero cold rolled recubiertos exteriormente en pintura electroestática.

8.3 DISTRIBUCIÓN DE LA CÁMARA Y PAREDES DEL HORNO

Debido a que el QFD arroja como resultado una forma cubica es muy sencillo realizar la distribución de la cámara ya que la mayoría de materiales que se emplean en la construcción del mismo vienen en presentaciones rectangulares y facilitan su construcción.

El horno a diseñar y construir presentara la siguiente configuración en su cámara principal.

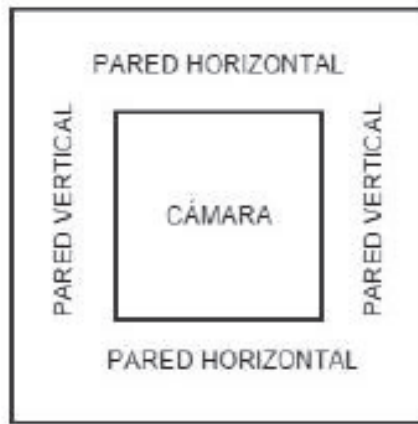


Ilustración 11. Distribución de la recámara y paredes del horno
Fuente: Autores del proyecto

8.4. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS PAREDES DEL HORNO

Manta Cerámica:

La MANTA CERÁMICA, es un aislante térmico utilizando caolines naturales y/o materiales sintéticos de alta pureza. La fibra resultante de estos materiales tiene un límite normal de uso de 1.200°C, con un punto de fusión de 1.760 °C. Durante el proceso de fabricación, las fibras se entrelazan formando un producto resistente a la de laminación. Este tipo de productos pueden ser utilizados para: Revestimiento térmico de hornos (tratamiento térmico, cerámica, etc.) y cámaras de combustión, Juntas de expansión, Sellos de hornos calentamiento, entre otros.

Propiedades físicas: color blanco

Diámetro promedio de las fibras (micrones μ) 2,8

Largo promedio de la fibra (cm.) 2 - 25

Gravedad específica: 2,56
Temperatura límite de uso continuo (°C) 1.260
Temperatura máxima (°C) ** 1.427
Encogimiento lineal % (24 hrs @ 1093 °C) 2,0
Conductividad térmica, 0,254 W/mK a una temperatura
Media de 1.090 °C (Manta de 8 Pcf) 0,257
Punto de fusión (°C) 1.760

Las características técnicas indicadas son valores promedios típicos obtenidos según los métodos de ensayo reconocidos y están sometidos a las variaciones normales de fabricación.



Ilustración 12. Manta cerámica. Abarephor Ltda. <http://www.abarephor.com/>

Ladrillo refractario

Este material es un material aislante cuya densidad es baja, es empleado para construir paredes aislantes de hornos que manejan alta temperatura, está compuesto en su mayoría por sílice-aluminosa y su presentación es cubica rectangular de diferentes medidas.

Una de sus principales características es su temperatura de operación ya que resiste temperaturas de hasta 1600 °C, posee una alta resistencia a la compresión y una conductividad térmica baja, lo que lo hace un material ideal para la construcción de hornos de alta temperatura.

Tabla 13. Propiedades de los materiales de las paredes

	Propiedades de los materiales				
Materiales	Propiedades				
	Conductividad Térmica (W/m.°C)	Máxima Temperatura de servicio (°C)	Densidad (g/cm ³)	Calor Especifico (J/Kg.K)	Referencia
Lamina cold rolled	52	1530	7,6	460	Cia general de aceros Anexo 5
Manta Cerámica	0,257	1427	0,256	900	Catalogo Abarephor
Ladrillo Refractario	0,362	1600	0,73	1050	Catalogo Abarephor

Fuente: autores del proyecto

8.5 CÁLCULO TÉRMICO DE LOS ESPESORES DE PARED

Para poder determinar los espesores de pared se efectúa un estudio por transferencia de calor en estado estable a lo largo de las paredes del horno teniendo en cuenta los siguientes datos:

Temperatura máxima de operación 1000 °C, temperatura ambiente promedio de Bogotá 16°C (Tomado de IDEAM año 2016), temperatura máxima exterior de hasta 100 °C.

8.5.1 Ubicación de materiales seleccionados para las paredes

Para la ubicación de los materiales se sabe que para un diseño óptimo cada capa deberá soportar la temperatura máxima de operación correspondiente a su ubicación dentro de la pared de revestimiento.

Se basa en lo criterios tomados del libro “*Hornos industriales de resistencias*” (Astigarraga, 1995), en el cual dice que en el aislamiento se emplean materiales de conductividades térmicas y densidades decrecientes, desde la cara caliente en el interior del horno, hasta la cara fría en el exterior del mismo.

Se toma en cuenta que el aislamiento va a estar distribuido de la siguiente manera: La primera capa desde el interior es el Ladrillo refractario, posteriormente la manta cerámica y por último la lámina cold rolled, como se observa en la imagen 13.

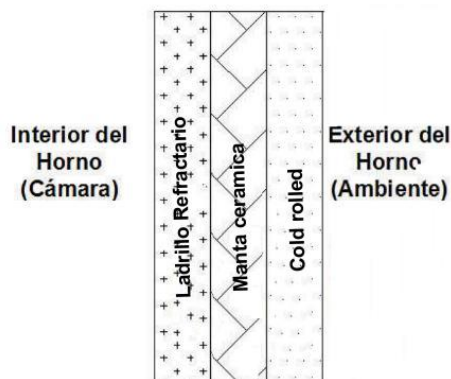


Ilustración 13. Distribución de los materiales del revestimiento
Fuente: Autores del proyecto

8.5.2 Cálculo de las pérdidas de calor en el horno

Antes de empezar los cálculos de pérdidas de calor se va a calcular la resistencia por generación que se calcula de la siguiente forma:

Tenemos un alambre de una resistencia eléctrica de 3 KW de potencia con 0,25 m de longitud y un diámetro de 4 mm tenemos una temperatura superficial asumida que es de 1000 °C y se requiere saber la temperatura en el centro de este alambre.

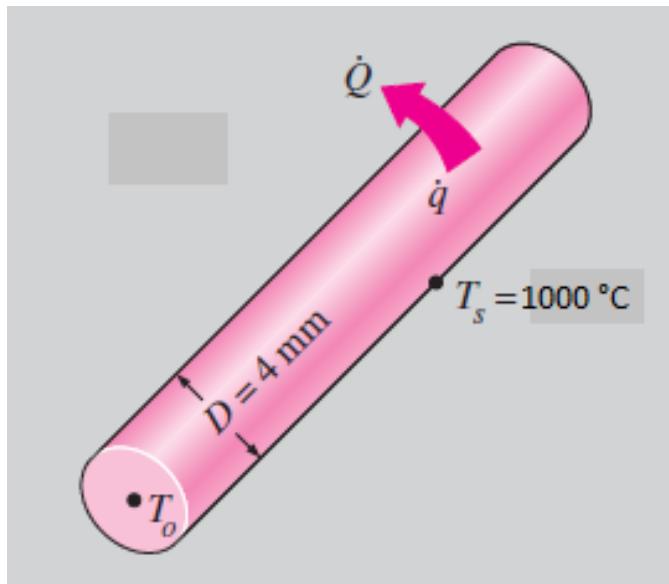


Ilustración 14. Calor en el centro del alambre
Fuente Cengel. 2008

Se va a determinar la temperatura en el centro de una resistencia eléctrica de un horno.

Para hacer los cálculos vamos a tomar las siguientes consideraciones:

- La transferencia de calor es estacionaria, dado que no cambia con el tiempo.
- La transferencia de calor es unidimensional, ya que se tiene simetría térmica con respecto a la línea central y no hay cambio en la dirección axial.
- La conductividad térmica es constante.
- La generación de calor en el calentador es uniforme.

La conductividad térmica del alambre de la resistencia eléctrica es de 15 W /m . K

La resistencia del calentador de 3 kW convierte la energía eléctrica en calor a velocidad de 2 kW. La generación de calor por unidad de volumen del alambre es

$$\dot{e}_{gen} = \frac{\dot{E}_{gen}}{V_{alambre}} = \frac{\dot{E}_{gen}}{\pi r_o^2 L} = \frac{3000 \text{ W}}{\pi (0,002\text{m})^2 (0,25\text{m})} = 0,955 \times 10^9 \text{ W/m}^3$$

Entonces, a partir de la siguiente ecuación, se determina que la temperatura en el centro del alambre es:

$$T_o = T_s + \frac{\dot{e}_{gen} r_o^2}{4k} = 1000 \text{ }^\circ\text{C} + \frac{(0,955 \times 10^9 \frac{\text{W}}{\text{m}^3})(0,002\text{m})^2}{4(15 \text{ W/m} \cdot \text{K})} = 1063 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura en el centro del alambre es de 1063 °C

Para los cálculos de las pérdidas de calor a través de las paredes del horno hay que realizar las siguientes consideraciones:

La temperatura superficial en la parte de la que va a ser de menos de 100 °C, y se toma la temperatura ambiente promedio de la ciudad de Bogotá de 16 °C (Temperatura obtenida del IDEAM año 2016).

Para dicho cálculo se asume que es un circuito térmico en donde las resistencias de conducción que son las del interior del horno están en serie, mientras que en la superficie del exterior tanto del ladrillo refractario como de se tiene dos resistencias en paralelo tomadas como la convección y radiación, además se tiene que considerar que existen resistencias por contacto tanto el contacto del ladrillo con la manta cerámica y la manta cerámica con la lámina cold rolled.

Por lo dicho anteriormente se asume que también existen dos flujos de calor en el horno, uno por conducción entre el ladrillo refractario, la manta cerámica y la lámina de Cold Rolled; otro por radiación y convección en el exterior del ladrillo refractario y el exterior de la lámina de Cold Rolled.

En la ilustración 15 se observa las diferentes variables y disposiciones que intervienen en el cálculo:

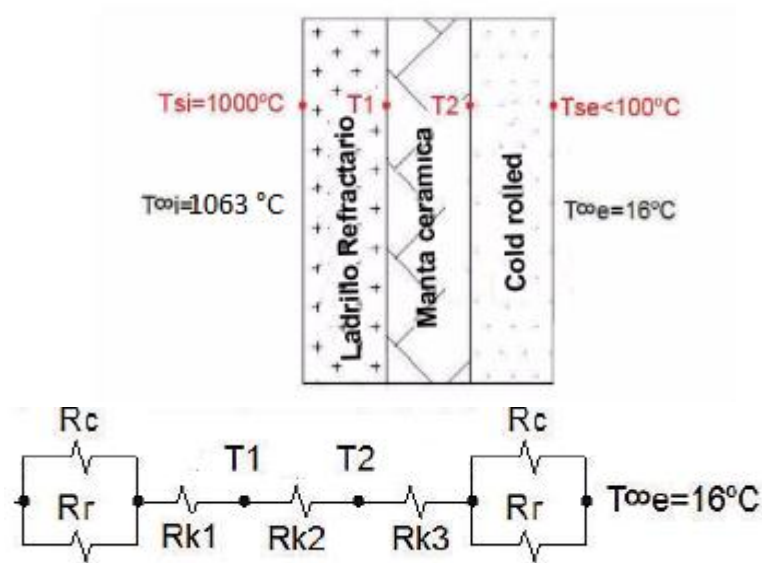


Ilustración 15. Esquema del modelo de transferencia de calor
Fuente: Autores del proyecto

$T_{\infty i}$ = Temperatura al interior de la cámara.

T_{si} = Temperatura superficial interior del ladrillo refractario.

T_1 = Temperatura entre el ladrillo refractario y la manta cerámica.

T_2 = Temperatura entre la manta cerámica y la chapa metálica.

T_{se} = Temperatura superficial exterior de la chapa metálica.

$T_{\infty e}$ = Temperatura al exterior del ambiente.

q_k = Flujo de calor perdido por conducción.

q_{cr} = Flujo de calor perdido por convección y radiación.

Según la ilustración 14 hay que calcular tanto las resistencias en serie como las resistencias en paralelo y además las resistencias por contacto de la siguiente forma todo esto asumiendo espesores de pared, para este caso se van a hacer los cálculos con los siguientes espesores para determinar si cumplen con los requerimientos de diseño:

Tabla 14. Dimensiones y conductividad de materiales

Material	Espesor [m]	Conductividad Térmica (W/m.°C)
Ladrillo Refractario	0,025 m	0,362
Manta cerámica	0,08 m	0,00257
Lamina de cold rolled	0,00152 m	52

Fuente: Autores del proyecto

Lo que se quiere con este cálculo es obtener una temperatura menor de 100 °C, para llegar a esto se deben variar los espesores de la manta cerámica y dejar constante los de la lámina de cold rolled y los ladrillos refractarios ya que estos vienen en presentaciones comerciales establecidas.

$$RK_1 = \frac{L_1}{K_1 A} = \frac{0,025 \text{ m}}{0,362 \frac{W}{m^{\circ}C} \times 6.25 * 10^{-3} m^2} = 11.04 \text{ }^{\circ}C/W$$

$$RK_2 = \frac{L_2}{K_2 A} = \frac{0,08 \text{ m}}{0,257 \frac{W}{m^{\circ}C} \times 0,02 m^2} = 15.56 \text{ }^{\circ}C/W$$

$$RK_3 = \frac{L_3}{K_3 A} = \frac{0,00152 \text{ m}}{52 \frac{W}{m^{\circ}C} \times 3.8 * 10^{-4} m^2} = 0,077 \text{ }^{\circ}C/W$$

Para las resistencias por contacto se busca la Conductancia térmica por contacto de algunas superficies metálicas en aire de la tabla 15

Tabla 15. Conductancia térmica por Contacto

Conductancia térmica por contacto de algunas superficies metálicas en aire (tomado de varias fuentes)

Material	Condición de la superficie	Aspereza, μm	Temperatura, $^{\circ}\text{C}$	Presión, MPa	$h_c, ^*$ $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
Parejas de metales idénticos					
Acero inoxidable 416	Esmerilada	2.54	90-200	0.17-2.5	3 800
Acero inoxidable 304	Esmerilada	1.14	20	4-7	1 900
Aluminio	Esmerilada	2.54	150	1.2-2.5	11 400
Cobre	Esmerilada	1.27	20	1.2-20	143 000
Cobre	Cepillada	3.81	20	1-5	55 500
Cobre (al vacío)	Cepillada	0.25	30	0.7-7	11 400
Parejas de metales diferentes					
Acero inoxidable: aluminio		20-30	20	10	2 900
				20	3 600
Acero inoxidable: aluminio		1.0-2.0	20	10	16 400
				20	20 800
Acero Ct-30: aluminio	Esmerilada	1.4-2.0	20	10	50 000
				15-35	59 000
Acero Ct-30: aluminio	Cepillada	4.5-7.2	20	10	4 800
				30	8 300
Aluminio-cobre	Esmerilada	1.17-1.4	20	5	42 000
				15	56 000
Aluminio-cobre	Cepillada	4.4-4.5	20	10	12 000
				20-35	22 000

Fuente: Cengel (2008)

$$R_{cont_1} = \frac{1}{hcAc} = \frac{1}{3800 \times 0,0625} = 4.2 * 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{cont_2} = \frac{1}{hcAc} = \frac{1}{1900 \times 0,0625} = 8.42 * 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

Para el cálculo de la resistencia por convección se realiza el siguiente cálculo:

Tabla 16. Coeficiente de transferencia de calor h

Medio	Coeficiente de transferencia de calor h (W/m ² . K)
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60.000
Vapor (en condensación)	6000-120.000

Fuente:

http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm

$$R_{conv_1} = \frac{1}{hcAc} = \frac{1}{15 \times 0,0625} = 1,066 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{conv_2} = \frac{1}{hcAc} = \frac{1}{6000 \times 0,0625} = 2,66 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Para el cálculo de la resistencia por radiación realizan los siguientes cálculos:

Tabla 17. Emisividad de superficies

Emisividades ε de varias superficies y emisividad efectiva de los espacios llenos de aire (tomado del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, Ref. 1, Cap. 22, tabla 3)

Superficie	Emisividad efectiva del espacio lleno de aire		
	$\varepsilon_1 = \varepsilon$		$\varepsilon_1 = \varepsilon$
	ε	$\varepsilon_2 = 0.9$	$\varepsilon_2 = \varepsilon$
Hoja de aluminio, brillante	0.05*	0.05	0.03
Hoja de aluminio	0.12	0.12	0.06
Papel cu-bierto de, aluminio	0.20	0.20	0.11
Acero galvanizado, brillante	0.25	0.24	0.15
Pintura de aluminio	0.50	0.47	0.35
Materiales de construcción:			
Madera, papel mampostería pinturas no metálicas	0.90	0.82	0.82
Vidrio común	0.84	0.77	0.72

*La emisividad superficial de la hoja de aluminio se incrementa hasta 0.30 con condensación apenas visible y hasta 0.70 con condensación claramente visible.

Fuente: Cengel (2008)

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$Rrad_1 = \frac{1}{h_{rad} A_c} = \frac{1}{\varepsilon \sigma (T_{si}^2 + T_{\infty i}^2) (T_{si} + T_{\infty i})} = 2,25 * 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

$$Rrad_2 = \frac{1}{h_{rad} A_c} = \frac{1}{\varepsilon \sigma (T_{se}^2 + T_{\infty e}^2) (T_{se} + T_{\infty e})} = 0,1315 \text{ } ^\circ C/W$$

Después de calcular todas las resistencias se halla la resistencia equivalente de las resistencias por convección y radiación para posteriormente sumarse con las resistencias por conducción:

$$\frac{1}{R_{equiv_1}} = \frac{1}{R_{rad_1}} + \frac{1}{R_{conv_1}} = 2.25 * 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

$$\frac{1}{R_{equiv_2}} = \frac{1}{R_{rad_2}} + \frac{1}{R_{conv_2}} = 2.6 * 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

La resistencia equivalente total es:

$$Requiv_{Total} = Requiv_1 + Requiv_2 + RK_1 + RK_2 + RK_3 + Rcont_1 + Rcont_2 \\ = 26,69 \text{ C/W}$$

Entonces la razón de transferencia de calor estacionaria en las paredes del horno es:

$$\bar{Q} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty e}}{Requiv_{Total}} = \frac{(1063^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C})}{26,69\text{C/W}} = 39,28 \text{ W}$$

Después de calcular esta relación se puede calcular la temperatura en la superficie exterior de la lámina de cold rolled del horno, para determinar si la configuración de espesores del material sirve para la construcción:

$$T_{se} = T_{\infty e} - \bar{Q}Rconv_1 = 16 - (-39,28 * 1,066) = 57,8$$

Como la temperatura es inferior a los 100 °C si se pueden emplear los espesores seleccionados en la tabla

8.6 DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO

Para el dimensionamiento del horno se va a tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Dimensionamiento de las paredes
- Dimensionamiento de la cámara
- Dimensionamiento de la recámara central del horno

8.6.1 Dimensionamiento de las paredes

Según la tabla 2 los espesores de cada pared deben ser de 0.10652m en cada lado, por ende las dimensiones de las paredes del revestimiento se van a distribuir de la siguiente manera.

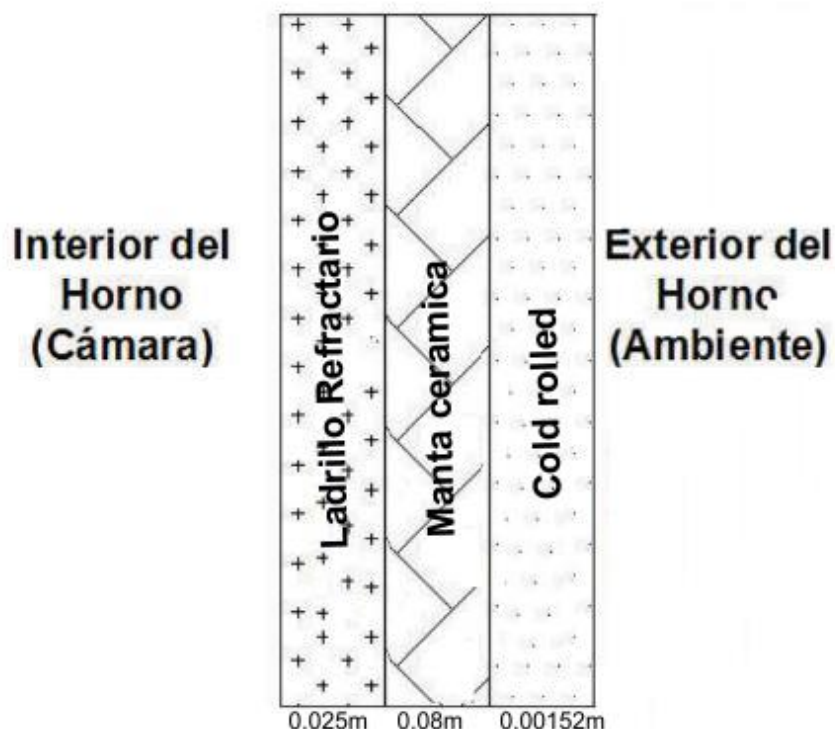


Ilustración 16. Dimensiones paredes

Fuente: Autores del proyecto

En la Imagen 15. Se observa que cada pared va a tener un espesor de 0.10652 m por lo que hay que tener en cuenta estas longitudes ya que junto con la cámara del nos van a dar las dimensiones del horno.

8.6.2 Dimensionamiento de cámara

La cámara interna del horno se va a dimensionar teniendo en cuenta el tamaño las probetas a las cuales se les va a realizar el tratamiento de cementación, también sabiendo que en el tratamiento de cementación por alcoholes se requiere una hélice en la parte inferior del horno que permite recircular la atmosfera a la hora de llevar a cabo el tratamiento y por supuesto incluyendo el factor económico que es muy importante.

El tamaño de las probetas es $\frac{3}{4}$ " de diámetro por 10 mm de alto y se quiere realizar pruebas a tres o cuatro probetas a la vez y el diámetro del tubo de ingreso de las probetas ubicado en la parte superior del horno (Techo) debe ser de 2 pulgadas además debe llevar otros dos tubos en el techo con un separación considerable ya que por uno ingresara el alcohol cuyo diámetro debe ser de 1/4 de pulgada y otro tubo de 3/4 de pulgada por donde se van a quemar los gases que resultan de la combustión de los alcoholes dentro del horno y deben ir

distribuidos de tal forma que el proceso no se vea afectado por la ubicación de los tubos.

Por otra parte dentro del horno se ubica una hélice movida por un motor de corriente eléctrica, esta hélice recircula la atmosfera interna del horno y permite que los gases que se forman por la combustión circulen y se genere el proceso de cementación. También se ubican en las paredes laterales y la pared trasera del horno las resistencias eléctricas que van a ser la fuente de calor.

Teniendo en cuenta lo anterior se determinó que la cámara del horno va a ser de 25 cm x 25 cm x 25 cm (Imagen 17), ya que estas dimensiones cumplen con las características requeridas para el proceso y se ajustan al presupuesto estimado para su construcción.

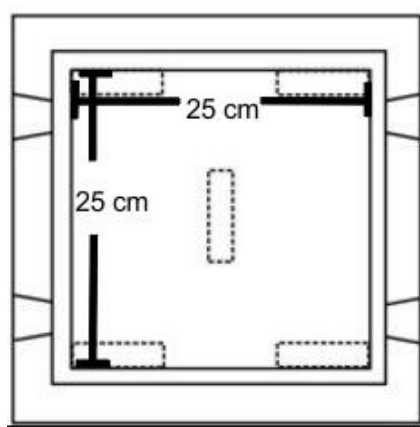


Ilustración 17. Dimensiones cámara
Fuente: Autores del proyecto

8.6.3 Dimensionamiento y material de la recámara

Para poder realizar el tratamiento térmico dentro del horno debe haber una recámara que garantice un aislamiento de la atmosfera que se va a generar por el goteo de alcoholes.

Esta recámara va a tener las siguientes características.

- Debe estar hecha en material anticorrosivo, ya que dentro de la misma el ambiente genera muchos óxidos. Por lo anterior se determinó que el mejor material para fabricar la recámara es acero inoxidable.
- Debe soportar altas temperaturas debido a su ubicación. Por lo que el acero inoxidable es también una buena opción.

- Debe tener un sellado efectivo con el fin de que permita tener una atmosfera homogénea dentro de la misma; para ello se determinó que debe ir sellado con un empaque de grafito que brinda un sellado de alta calidad y soporta temperaturas hasta de 1200 °C (Anexo 2).



Ilustración 18. Tapa recamara
Fuente: Autores del proyecto

- Según las medidas de la cámara principal del horno y la distribución de las resistencias se logró determinar que la recamara va a ser de 27 cm de alto x 23.5 cm de ancho x 22 cm de fondo. Aparte de las medidas mencionadas anteriormente, se debe tener en cuenta los tubos que hacen parte del horno ya que estos deben pasar a través de la cámara y la recamara.



Ilustración 19. Recamara en acero inoxidable
Fuente: Autores del proyecto

8.6.3 Dimensiones externas del horno

Con las medidas obtenidas anteriormente podemos determinar cuáles son las dimensiones externas del horno o las dimensiones de la estructura del mismo.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado las medidas finales del horno van a ser 50 cm de alto x 50 cm de ancho x 37,5 cm de fondo (Plano 6).

8.7 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Las resistencias para el horno se seleccionaron tomando en cuenta las variables requeridas tales como temperatura máxima, calor generado, variaciones de temperatura, entre otras; además que éstas fueran de fácil consecución comercial.

El calentamiento por resistencias eléctricas es establecido por el efecto joule, en donde la potencia eléctrica absorbida por los elementos resistivos es disipada al medio en forma de calor.

$$Q = I^2 \times R \times t$$

Donde:

Q : Calor disipado

R : Resistencia del elemento calefactor.

I_C : Intensidad de corriente a través del elemento calefactor.

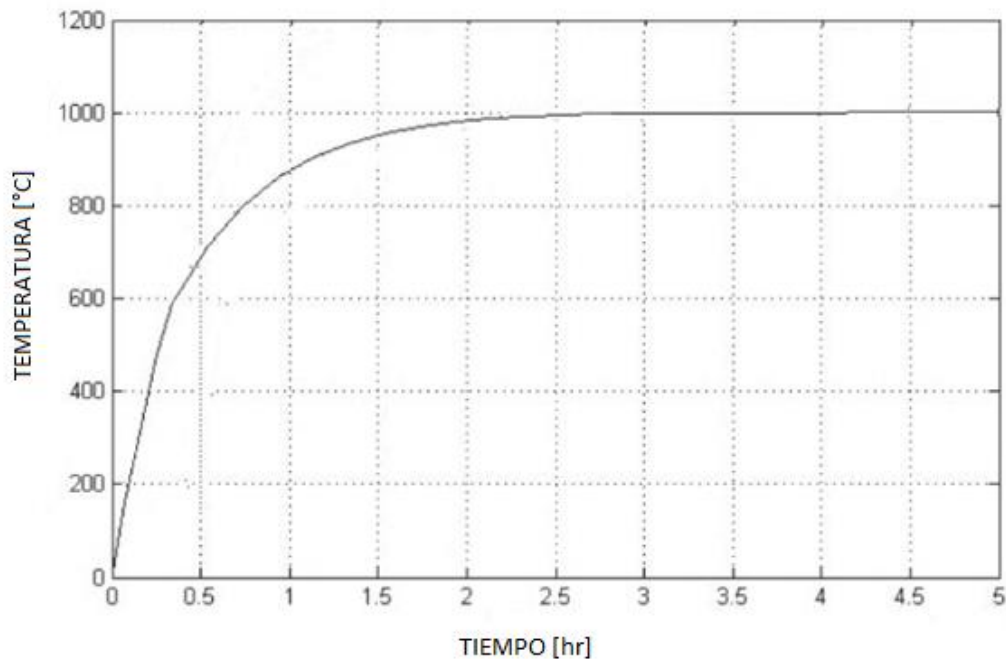
t : Tiempo

(Astigárraga, 1995)

8.7.1 ECUACIONES PARA CÁLCULO

La potencia máxima que se puede alcanzar en el interior de la recámara de un horno de calentamiento por resistencias está dada de la disposición de las mismas y de la temperatura máxima.

En la gráfica 3 se puede observar la simulación según las variables obtenidas anteriormente, donde se muestra la variación de la temperatura con el tiempo, la respuesta arroja que el sistema es sobre amortiguado. El tiempo necesario para llegar a la temperatura de 1000 °C es de alrededor de 2 hora y media.



Grafica 3. Relación entre la Temperatura (T) y el tiempo (t) del horno.
Fuente: Autores del proyecto

Las fórmulas que se usan generalmente para determinar el diámetro del alambre de una sola resistencia son:

$$R_{20} = \rho_R \times \frac{4 + L_R}{\pi \times d^2}$$

(KANTHAL, 2003)

La resistencia de un conductor R_{20} : (resistencia del elemento calefactor a 20°C) de diámetro d , es proporcional a su longitud L_R e inversamente proporcional a la sección transversal.

La constante de proporcionalidad ρ_R es la resistividad del material y es independiente de la temperatura.

Cabe resaltar que las unidades de la resistividad en el SI está dada en $[\Omega mm^2 m^{-1}]$.

Como la variación de la resistencia con la temperatura no es lineal se considera el coeficiente de temperatura que se define como la relación entre la resistencia a una cierta temperatura y la resistencia a 20 °C y su valor se encuentra en tablas.

Disponiendo las anteriores ecuaciones se llega a la relación para calcular el diámetro del alambre d :

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \times P \times \rho}{\pi^2 \times p \times R_{20} \times 10}}$$

(KANTHAL, 2003)

Para el cálculo del diámetro del alambre de resistencia se necesita determinar el tipo de aleación para la resistencia.

El material seleccionado, tomando en cuenta la temperatura que se necesita alcanzar en la recámara del horno, es el Kanthal-A1 que tiene una resistividad de 1,05 $[\Omega mm^2 m^{-1}]$, puede trabajar hasta una temperatura de elemento de 1400 °C, por lo tanto, el diámetro del alambre al reemplazar los valores en la ecuación 8.12 es: de un diámetro de 1.9 mm.

Dado a que el diámetro que se consigue comercialmente es de 2 mm, se optó por seleccionar este.

Se proceden a calcular el diámetro de las espiras, los valores de longitud total del alambre y el paso entre espiras, que son aspectos imprescindibles en la construcción de las resistencias.

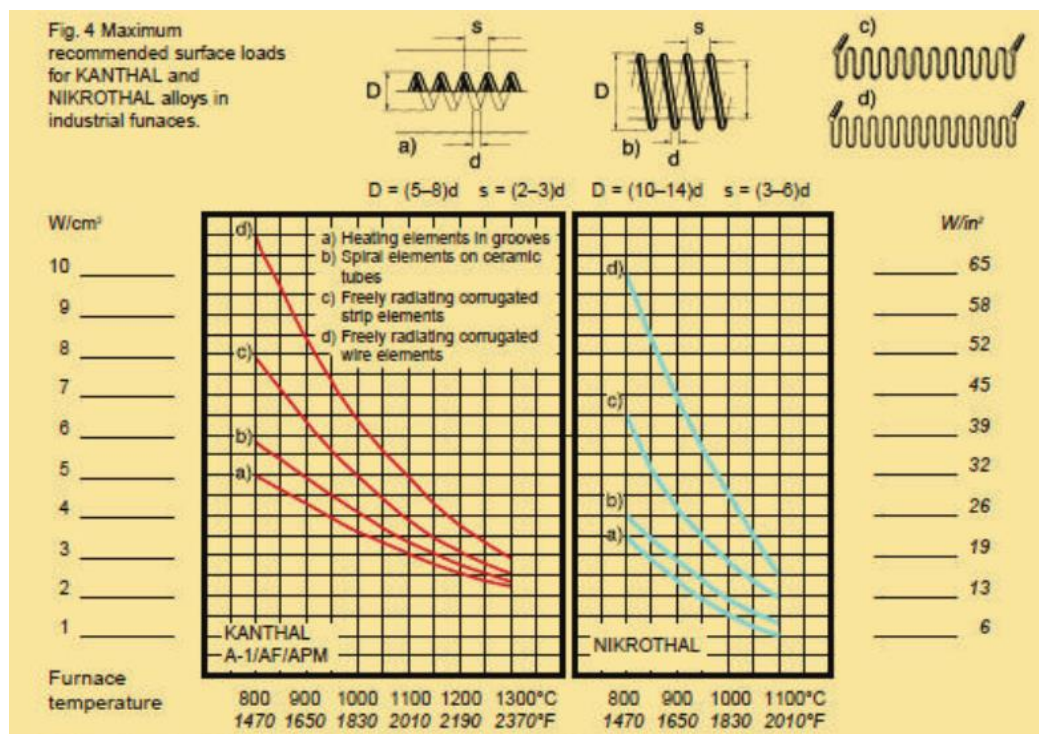
La longitud total del alambre por cada resistencia está dada por la siguiente ecuación:

$$L_T = \frac{P}{\pi \times d \times p}$$

(KANTHAL, 2003)

$$L_T = 25.2 [mm]$$

Posteriormente se calcula el diámetro de las espiras, en la gráfica 4 se obtiene los valores recomendados para el cálculo del diámetro de cada espira:



Grafica 4. Carga de la resistencia máxima recomendada Kanthal 1

$$D = (5 - 8)d$$

(KANTHAL, 2003)

Adicionalmente se tiene una ecuación adicional para calcular del paso entre espiras:

$$s = (2 - 3) * d$$

(KANTHAL, 2003)

Obteniendo los valores intermedios se tiene que el diámetro de la espira y el paso arrojan los siguientes datos:

$$D = 6 * d = 12 [mm]$$
$$s = 3 * d = 6[mm]$$

Por último el catalogo del Kanthal muestra las ecuaciones para el cálculo del número total de espiras; con los datos calculados podemos construir las resistencias.

Numero de espiras (N)

$$N = \frac{L_T}{\pi (D + d)}$$

(KANTHAL, 2003)

$$N = 684,5 [Espiras]$$

8.8 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

8.8.1 Selección del sensor

Para la selección del sistema de control se van a determinar las variables que se quieren controlar. En el caso del este horno lo que se requiere controlar básicamente es la temperatura y las velocidades de calentamiento del mismo por lo que se necesita un control tipo rampa que cumpla con estas características.

Por lo que se seleccionó un equipo Max-Thermo Mc 5438 Ilustración 19, que cumple con todos los requerimientos del horno (Anexo 1).



Ilustración 20 Equipo Maxthermo MC 5438

<http://sti-gas.com/producto/controladores-mc-2438-mc-2538-maxthermo/>

8.8.2 Selección de la termocupla

Para escoger la termocupla se determina teniendo en cuenta que la temperatura de operación del horno es superior a los 1000 °C y que esta sea totalmente compatible con el sensor

Por consiguiente, en la tabla del (Anexo 2) se observa que la mejor opción para la termocupla es el tipo K que es una aleación de Cromel-Alumel que permite trabajar en los rangos del horno.

8.8.3 Selección del flujometro

Para el goteo de alcoholes se requiere un equipo que permita controlar el caudal para el flujo de estos. Por ende se debe tener claro el rango de flujo el cual se realiza el tratamiento que es de aproximadamente 10 cm^3/min . Además, debe ser en un material que no se oxide ya que por el van a pasar alcoholes altamente corrosivos.

Según las especificaciones técnicas dadas por el fabricante, se seleccionó un flujometro tipo rotámetro marca Dwyer modelo RMA-151-ss Imagen 20, que trabaja en un rango de 5 a 50 cm^3/min ; cuerpo en policarbonato con internos en acero inoxidable (Anexo 3), que cumple con todas las necesidades requeridas en el proceso.



Ilustración 21 Flujometro Dwyer modelo RMA-151-ss

<http://www.transcat.ca/dwyer-instruments-rma-151-ssv-rma-151-ssv>

8.9 ESTRUCTURA METÁLICA

La estructura metálica se construyó de forma cubica tal y como se determinó en el QFD, esta estructura es la encargada de contener todos los elementos que hacen parte del horno, se fabricó en lamina cold rolled con terminados en pintura electrostática con alta resistencia a la corrosión. Los procesos utilizados para su fabricación fueron por doblado y soldado. Esta estructura tiene en las aristas posteriores del horno pestañas de refuerzo que dan firmeza a la misma y facilitan el acoplamiento de los materiales aislantes que hacen parte de las paredes, además se hicieron 4 orificios en las dos caras laterales del horno distribuidos en forma cuadrada que contienen tornillos pasantes que permiten sostener componentes internos del horno; en la parte superior del mismo tiene 3 orificios uno por donde van a ingresar las probetas, otro por donde ingresan los alcoholes y el ultimo que es el desfogue de los gases que resultan del proceso. En la parte trasera el horno contiene una tapa del cableado por lo que esta estructura tiene x orificios para que esta se sostenga.

Las dimensiones de la estructura se encuentran en el **anexo 4 planos 1, 2 y 3.**

8.10 DISEÑO DE PUERTA

Para el diseño de la puerta se consideran como aspectos importantes las dimensiones y el peso de la puerta, las dimensiones de la cámara y las dimensiones generales del horno, de tal manera que este mecanismo permita la operación correcta del horno y facilite la apertura al usuario.

Para determinar su espesor se debe considerar un material con buenas características de aislamiento, que permita un cierre hermético, con una baja densidad y una conductividad preferencial, en este caso será la manta cerámica.

De esta manera se consigue que la puerta sea liviana y cumpla con la condición de que la temperatura superficial exterior sea menor a 100°C, además se utilizará lamina cold rolled como base estructural obteniéndose un espesor total de la puerta de 75 mm.

Ancho = 500 mm

Largo = 500 mm

Espesor = 75 mm

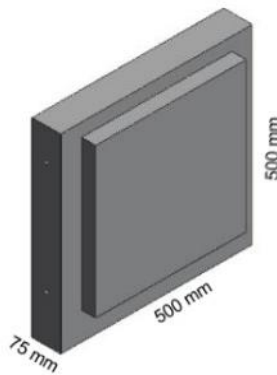


Ilustración 22 Boceto de puerta

Fuente. Autores del proyecto

8.11 SELECCIÓN DEL MOTOR Y LA HÉLICE

Para la selección del motor se tomó en cuenta que el QFD arrojó un motor de 110 voltios de 40 rpm por lo que se instaló un motor de estas características en la parte inferior del horno.

Para la hélice se debe tener en cuenta que está sometida a un ambiente altamente corrosivo por ende se construyó en un material con alta resistencia a la corrosión como lo es el acero inoxidable, además como va a estar sometida a altas temperaturas se construyó con un espesor de 2.7 mm (calibre 12) y su eje con un diámetro de 1 pulgada, esto con la garantía de que no tengo problemas ni por calentamiento ni por corrosión.

Para el cálculo de los diámetros del eje de la hélice se tiene que considerar 3 factores muy importantes:

- Dimensiones del eje (diámetros, longitudes, etc.).
- Acciones (flechas, momentos, etc.).
- Material.

Además para dicho cálculo nos podemos regir en dos criterios como son;

- Rigidez.
- Resistencia.

El criterio de rigidez se basa mayormente en la torsión del material. Mientras el criterio de la resistencia tiene menos en cuenta la torsión pero se centra en el esfuerzo a tracción y el esfuerzo cortante.

Para proceder a los cálculos de los diámetros debemos dirigirnos en primer lugar a la normativa de Det Norske Veritas, Pt4 Ch4 Sec1 B208, en la que nos hace referencia a este apartado, en el cual debemos cumplir una serie de requisitos:

El diámetro (D) del eje debe cumplir lo siguiente:

$$D = 100 * K * \sqrt[3]{\frac{p}{n} * \frac{560}{\sigma + 160}}$$

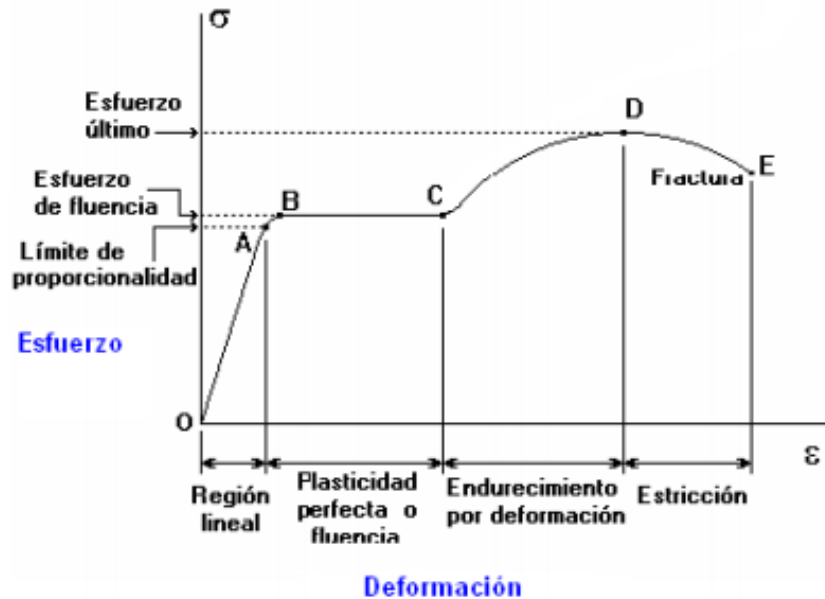
D: Diámetro menor del eje

N=40 rpm (revoluciones del eje)

P= 1.44 KW

Eje porta hélice; K = 1,22

A continuación veremos la gráfica de esfuerzo – deformación del acero del eje:



Grafica 5 gráfica de esfuerzo – deformación del acero del eje

Fuente. Autores del proyecto

σ_b (D) Será la tensión de tracción a la rotura del eje del acero

σ_y (B) Será la tensión de fluencia de eje del acero.

Estos esfuerzos de tensión son medidos en MPa, (N/mm²) La normativa nos exige que el acero a emplear tenga unos valores de carga máxima y de tensión de fluencia, estos son:

- Tensión de fluencia del acero debe de tener un valor mínimo de 295 (N/mm²).
- Tensión a la rotura del acero debe de tener un valor mínimo de 560 (N/mm²).

Para nuestro proyecto hemos escogido para el eje un acero inoxidable con unos valores de tensión; - Tensión de fluencia; 300 (N/mm²)

- Tensión a la rotura; 600 (N/mm²) Una vez obtenidas las variables necesarias podemos obtener un valor mínimo teórico en los diferentes tramos. Son valores importantes, ya que no se pueden bajar en ninguna situación.

Una vez obtenidas las variables necesarias podemos obtener un valor mínimo teórico en los diferentes tramos. Son valores importantes, ya que no se pueden bajar en ninguna situación.

$$D = 100 * K * \sqrt[3]{\frac{p}{n} * \frac{560}{\sigma + 160}}$$

Con los siguientes datos:

K	P (KW)	N (rpm)	Tension R. (N/mm ²)	D(mm)
1.22	1.44	40	600	226

Por cuestiones de consecución comercial seleccionamos un diámetro del eje de 25.4 mm que es la medida comercial más cercana.

La longitud se tomó en cuenta según el espacio del horno en el cual se debe medir cual es el espacio que hay entre el motor y la parte inferior del horno donde va a llevar la hélice. En este caso arrojo 400 mm de longitud..

8.12 CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL HORNO

Dado por finalizado los cálculos referentes al diseño de los elementos que integran el horno y la selección de los materiales, se procede con la siguiente etapa que corresponde a la construcción y montaje.

Para seguir un orden en la construcción de las partes principales que conforman el horno, primero se realiza el dimensionamiento y fabricación de la estructura metálica; seguido por la construcción de las paredes del revestimiento térmico, luego se continúa con el dimensionamiento y construcción de las placas porta-resistencias. Finalmente se realiza la construcción y el montaje de la recámara, cubierta exterior y adaptaciones del motor.

8.12.1 Partes Metálicas

Inicialmente para la construcción de los elementos del horno, se realiza la estructura base con las dimensiones del mismo, esta nos va a permitir acoplar todos los componentes del mismo Imagen 23.



Ilustración 23. Estructura metálica
Fuente. Autores del proyecto

8.12.2 Paredes aislantes y resistencias

Una vez se tenga terminada la estructura metálica se procede con la construcción de las paredes del horno en las cuales se une la manta cerámica y el ladrillo refractario con la estructura en cold rolled con terminados en pintura electrostática.

Después de terminar con las paredes se procede a la instalación de las resistencias eléctricas con sus cables de alimentación y teniendo en cuenta la distribución de las mismas.



Ilustración 24 Mantas cerámicas y ladrillos refractarios
Fuente: Abarephor



Ilustración 25 Cámara interna del horno
Fuente: Autores del proyecto.

8.12.3 Montaje de los sistemas de ingreso de probetas alcoholes y desfogue del horno

Posteriormente se procede al montaje de los sistemas de alimentación de alcoholes, ingresos de probetas y desfogue del horno, que se realiza básicamente abriendo los huecos con el diámetro de cada tubo e insertándolos de forma cuidadosa sin dañar la capa refractaria interna.



Ilustración 26 Montaje sistemas de ingreso y purga
Fuente: Autores del proyecto.

8.12.4 Montaje del motor y la hélice

Luego se soporta el motor sobre la estructura especialmente construida para su buen funcionamiento y se atornilla teniendo en cuenta que su eje debe estar en el centro de la base inferior del horno.

Posteriormente se inserta la hélice dentro del horno y se asegura al motor comprobando que haya quedado completamente rígida para no tener problemas a la hora de su funcionamiento.



Ilustración 27 Motor y Hélice
Fuente: Autores del proyecto

8.12.5 Montaje de la recámara

Con cuidado se extraen las aspas de la hélice y los tubos y se inserta la recámara en acero inoxidable y se hacen coincidir los tubos en la recámara luego se vuelve a insertar las aspas y se cierra la recámara con sus tornillos.



Ilustración 28 Horno con recámara
Fuente. Autores del proyecto

8.12.6 Instalación del sistema de control, sistema eléctrico del motor

Se instala la termocupla y se realizan las conexiones pertinentes al controlador del horno y del sistema eléctrico que va a alimentar el motor.

8.12.7 Instalación del tanque de alcoholes y tubo de alimentación

En la parte superior del horno se pone la base del tanque y se instala el flujometro y las mangueras de alimentación de alcoholes.



Ilustración 29 Instalación tanque y manguera de alimentación

Fuente. Autores del Proyecto

8.13 Pruebas del horno y el sistema de goteo, con carga.

Para la prueba del horno por goteo de alcoholes, se realiza el tratamiento térmico de cementación por goteo de alcoholes, el cual consiste en cementar probetas de acero 1020 de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro x $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor aproximadamente.

Composición Química: 0.20% de C, 0.35% de Mn, 0.18% de Si.

Descripción y aplicaciones: Este acero es un acero que se usa básicamente para partes de maquinaria que no esté sometida a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, etc.

Tratamiento térmico: Cementación por goteo de alcoholes.

Este consiste en elevar la temperatura del horno y las probetas hasta 800 °C y después de llegar a esta temperatura iniciar el goteo controlado por 4 horas y después hacer un enfriamiento controlado por 2 horas.

Preparación de las Probetas

Para preparar las probetas se requiere obtener 3 muestras de 1 pulgada de diámetro x ½ pulgada de espesor y prepararlas de tal forma que puedan ser introducidas en el horno como se observa en la ilustración 28.



Ilustración 30 Preparación de las probetas
Fuente. Autores del Proyecto

Preparación del sistema de goteo

Para el sistema de goteo de alcoholes, se introducen los alcoholes dentro del tanque y se hace una prueba de goteo externa antes de conectar la manguera que suministra el alcohol al horno. Después de hacer esta comprobación se conecta la manguera al horno con la válvula de suministro cerrada.



Ilustración 31 Preparación sistema de Goteo
Fuente. Autores del Proyecto

Inserción de las probetas y configuración del horno

Se procede a introducir las probetas por el tubo central ubicado en la parte superior del horno ilustración 32.



Ilustración 32 Inserción de probetas
Fuente. Autores del Proyecto

Luego de tener todos los subsistemas y elementos listos, se procede la configuración del control que va requerir de 3 procesos:

- Subir la temperatura en 2 Horas hasta los 800 ° C
- Mantener la temperatura en 800 °C Durante 4 horas.
- Disminuir la temperatura en 2 Horas.

Extracción de las probetas

Después de realizar todo lo mencionado anterior mente se procede a extraer las probetas tratadas y a realizar su posterior estudio ilustración 33.



Ilustración 33 Extracción de probetas
Fuente. Autores del Proyecto

8.14 Resultados

La ilustración 34 muestra la metalografía obtenida para la probeta cementada luego de 4 horas y una atmosfera carburante de $10\text{ cm}^3/\text{min}$, se puede apreciar una delgada capa en la superficie de la probeta, la cual correspondería a la capa cementada, para comprobar esta afirmación se procede a tomar imágenes a mayores aumentos y a realizar ensayos de microdureza.

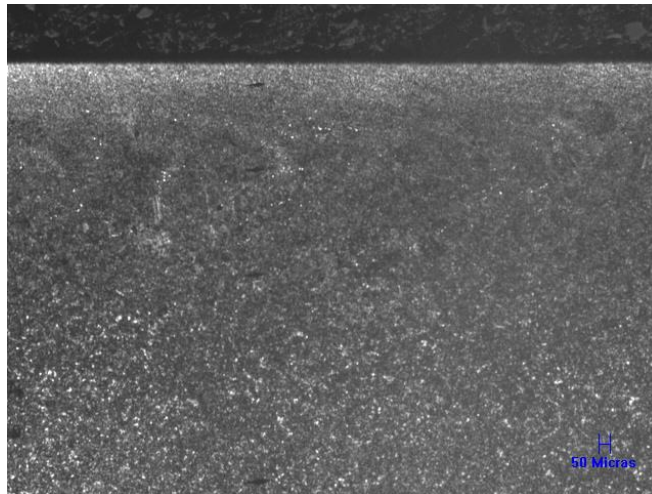


Ilustración 34 micrografía a 50x del acero 8620 cementado
Fuente. Autores del Proyecto

A 100x se empieza a notar de una manera más clara la superficie cementada, en efecto se puede afirmar que si hubo un proceso exitoso desde el punto de vista microestructural pero esta información se contrasta con las pruebas de microdureza, las huellas de la indentación realizada en las probetas aparecen en la ilustración 35.



Ilustración 35 micrografía a 100x del acero 8620 cementado
Fuente. Autores del Proyecto

Lo que se busca en un proceso de cementación es que aparezca una capa de carbono que al ser enfriado rápidamente se transforma en martensita, en la ilustración 36 se puede apreciar de una forma más clara la aparición de esta nueva capa soportada sobre la matriz del material, que para este caso es ferrítico – perlítica.

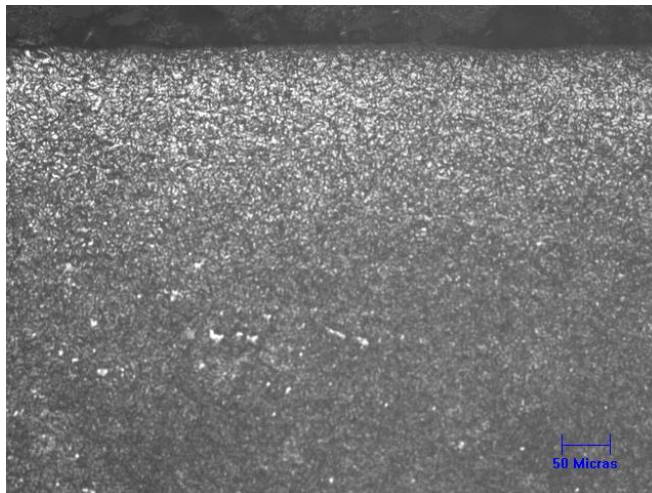


Ilustración 36 micrografía a 200x del acero 8620 cementado
Fuente. Autores del Proyecto

Si se tiene en cuenta la escala de la micrografía se puede decir que el espesor de capa obtenido esta cercano a las 200 μ m, es decir, una capa relativamente delgada pero que podría aumentar en espesor si se ajustan las variables adecuadas del proceso, que al margen de los objetivos propuestos no está en los alcances de este.

A aumentos mayores se puede apreciar la presencia de la martensita, esta microestructura al estar soportada sobre una fase blanda le transfiere al material resistencia al desgaste y en algunos casos resistencia a la corrosión, la ilustración 36 muestra la capa de martensita formada en el acero, al igual se aprecia la huella dejada por la indentación en el ensayo de microdureza.

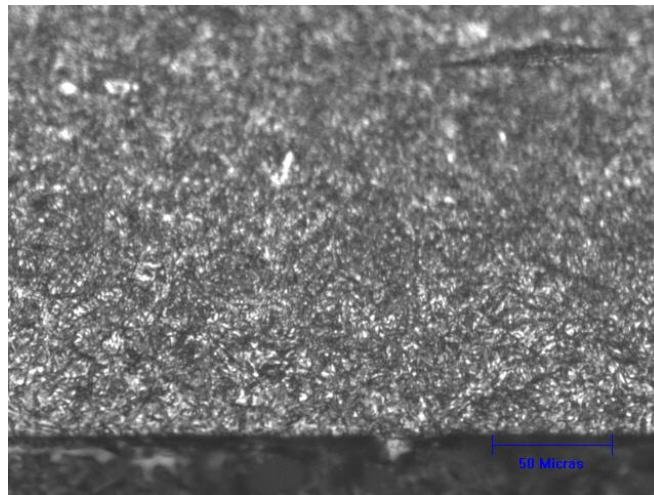


Ilustración 37 micrografía a 500x del acero 8620 cementado
Fuente. Autores del Proyecto

La imagen que se presenta en la ilustración 37 muestra la capa cementada y su morfología, dado el aspecto acicular de la microestructura es evidente que hubo una transformación, nótese también que a medida que se va interiorizando el aspecto cambia, esta es otra característica que presentan las capas cementadas, como se trata de difusión de carbono al interior se hace evidente el decrecimiento de este a medida que se avanza hacia el interior de la probeta.

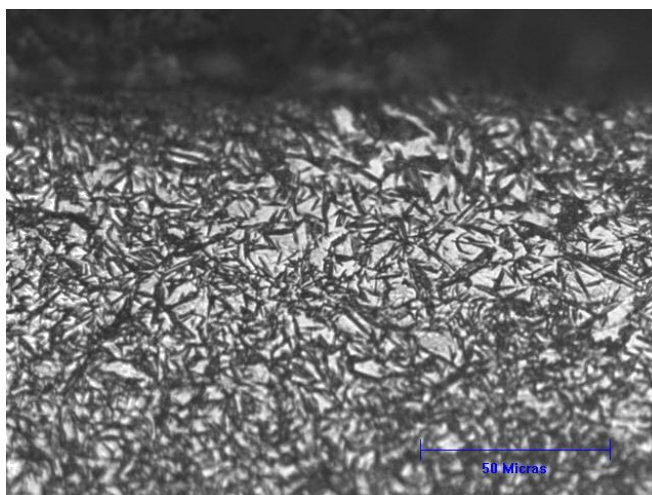


Ilustración 38 micrografía a 800x del acero 8620 cementado
Fuente. Autores del Proyecto

Para poder cotejar los resultados obtenidos se lleva a cabo el proceso de medición de la capa cementada y se realizan ensayos de microdureza, la Ilustración 38 muestra las mediciones que se realizaron con el analizador de imágenes y los resultados obtenidos, con la toma de 5 mediciones se realiza un promedio para estimar el espesor de la capa, los resultados obtenidos fueron medidos en las zonas indicadas en la foto, los resultados en cada medición fueron los siguientes:

Tabla 18. Medición capa cementada

MEDICIÓN	RESULTADO
1	933 μm
2	1022 μm
3	928 μm
4	920 μm
5	907 μm

Fuente. Autores del proyecto

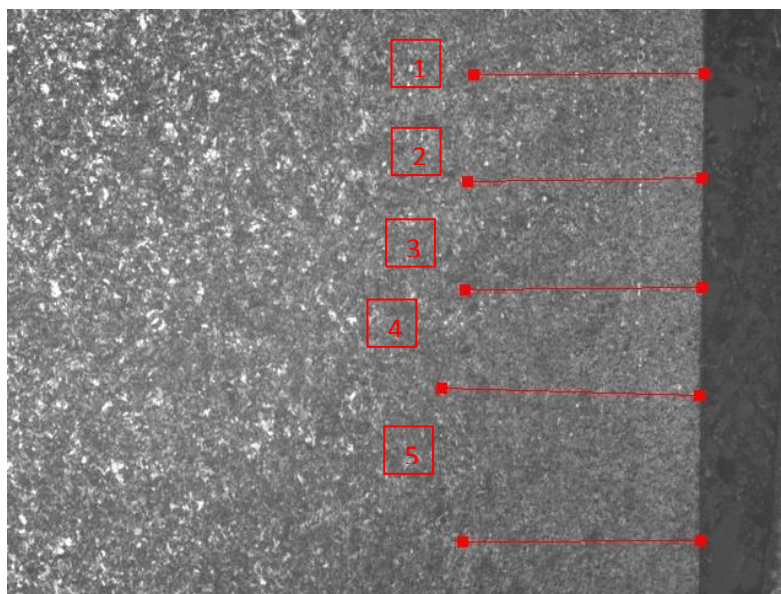


Ilustración 39 Mediciones Espesor de la Capa Cementada en acero 8620
Fuente. Autores del Proyecto

Para concluir las pruebas de verificación del equipo se realizaron ensayos de dureza en la capa cementada cuyos valores fueron los siguientes.

Tabla 19. Durezas en la capa cementada

MEDICIÓN	DUREZA (Knoop)
1	768
2	753
3	741
4	715
5	701
6	677
7	594

Se hicieron tomas de microdureza en la escala Knoop con carga de 2000 g y un tiempo de 30 segundos, los datos de dureza ratifican que si se obtuvo martensita.

8.15 Planos

Los planos del horno de cementación Gaseosa se encuentran en el (anexo 4).

8.16 Manual de funcionamiento y mantenimiento

Este manual tiene como fin dar instrucciones generales de servicio y de mantenimiento, con el objeto de evitar accidentes personales y/o daños estructurales dentro del laboratorio de la universidad libre. (Anexo 5)

9 CONCLUSIONES

Se comprobó que la probeta bajo los parámetros de 4 horas y una atmosfera carburante de $10 \text{ cm}^3/\text{min}$, según las metalografías se puede apreciar una delgada capa en la superficie de la probeta, la cual correspondería a la capa cementada, por consiguiente, se puede afirmar que si hubo un proceso exitoso desde el punto de vista microestructural.

Se diseñó y se construyó un horno para realizar el tratamiento térmico de cementación gaseosa por alcoholes, cuyas características son temperatura máxima de $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ cabe aclarar que, aunque sea su temperatura máxima el horno nunca se va a operar en esta temperatura.

10 BIBLIOGRAFIA

- [1] Johnny F. Obando B1, Álvaro Castro P. y Carlos Alexander Trujillo. (Abril de 2006). Diseño y construcción de un prototipo controlado para carburización gaseosa de aceros utilizando alcoholes. Revista ingeniería e investigación en ingeniería. (Vol. vol. 26, Págs. P. 86-91)
- [2] Physical Metallurgy Aspects of the Austenitic Nitrocarburising Process, T. Bell, M. Kinal, Heat Treatment of Metals, 1987, vol 2, pag 47 - 51
- [3] Knetics of the Gaseosus Nitrocarburising Proces. J Slycke., L Sprorge., Surface Engineering
- [4] Bohórquez Ávila C.A. (2007). Nitrocarburación austenítica de los aceros AISI SAE 1020 y 8620 mediante el empleo de alcoholes y nitrurantes líquidos. Avances Investigación e ingeniería. (Año 4 – No 7 – II semestre 2007. Págs., P 56-60)
- [5] Franco Fernando, Paz José Harrinson. (Diciembre de 2004). Tratamiento Térmico de Aceros de Bajo Carbono en Horno de Atmósfera Controlada. Ingeniería y Competitividad Revista científica y tecnológica. (Vol. vol. 6, Págs. P. 52-63)}
- [6] Lajtim, YU.M. Metalografía y Tratamientos térmicos de los metales. 3 Ed.
- [7] EMISON. Hornos Industriales, Barcelona, [página web en línea], Disponible en: <http://emison.es/hornos/pdf/hornos%20industriales.pdf>. 15-10-2009.
- [8] M31PEDRO. Hornos Industriales, [página web en línea], 27-02-2002. Disponible en: <http://www.energia.inf.cu/iee-mep/SyT/CDG/Taller2BAE/hornosind.pdf>. 18-12-2009.
- [9] UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Lección 10. Hornos, [página web en línea], Formato de archivo: Microsoft PowerPoint – Versión en HTML. Disponible en: <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.Hornos.INTRODUCCION.ppt>. 22-10-2009.
- [10] ORDOÑEZ, S. Hornos Eléctricos, [página web en línea], Universidad de Santiago de Chile, Depto. de Ingeniería Metalúrgica, 10-11-2010 Disponible en: <http://www.metalurgiausach.cl/TECNICAS%20EXPERIMENTALES/UNID8.pdf>. 29-11-2010.
- [11] TRINKS, W. Hornos Industriales. Bilbao, España: Urmo, 1971. pp. 16-18.

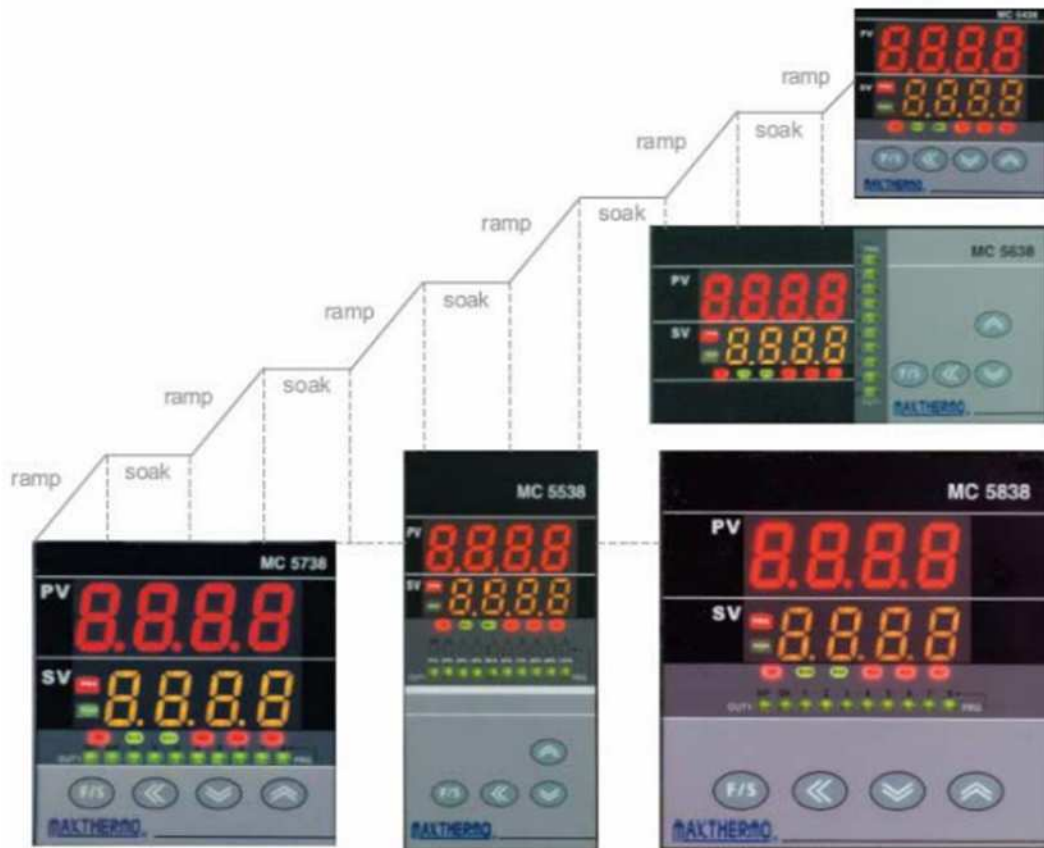
Anexos



Temperature Controllers MC 5438/MC5538/MC5638 MC5738/MC5838



FREE ARRANGEMENT FOR EVERY PARAMETER
MODBUS RTU COMMUNICATION OPTIONAL
8 STEPS OF RAMP & 8 STEPS OF SOAK
HEATER BROKEN ALARM OPTIONAL
MULTI FUNCTION OF ALARM
TRANSMISSION OPTIONAL
MOTOR VALVE OPTIONAL
DUAL OUTPUT OPTIONAL
SOFT START OPTIONAL
REMOTE SV OPTIONAL
MULTI LEVEL PID





Display:

Digital display:	7 segments / Measured value (PV) Red LED 4 digits, Set value (SV) Yellow LED 4 digits
Display accuracy:	$\pm (0.3\% \text{ FS} + 1 \text{ digit})$ at $23 \pm 5^\circ\text{C}$ Refer to Table of Measuring Range Codes.
Display resolution:	Depends on measuring range (0.001, 0.01, 0.1, 1)
Sampling cycle:	0.3 sec
Action display / colors:	LED lamp indication: Control output (OUT) / Green, alarm / Red, Auto tuning (AT) / Red, Manual control (MAN) / Green, Output percentage / Green, Program (PRG) / Red.

Setting

Setting:	By 4 font key switches
Setting range:	Same as measuring range
Setting limit:	Higher / lower limits individual setting as desired within measuring range (lower limit value < higher limit value)

Input

	K.J.T.R.E.S.B.N.RTD.Linear (Multi-input, multi-range: Refer to Table of Measuring Range Codes.)
External resistance:	100 Ω max.
Input impedance:	600k Ω min.
Burnout:	Standard feature (upscale)
Cold junction temperature Compensation accuracy:	$\pm 1^\circ\text{C}$ (-5 ~70 $^\circ\text{C}$)
Cold junction temperature Compensation accuracy:	$\pm 1^\circ\text{C}$ (-5 ~70 $^\circ\text{C}$)
Amperage:	Approx. 0.25mA
Lead wire tolerable resistance:	5 Ω max.
Voltage:	-10~10, 0~10, 0~20, 0~50, 0~100mV DC or 0~1, 0~2, 0~5, 1~5, 0~10V DC (Multi input, programmable range; Refer to Table of Measuring Range Codes.)
Input impedance:	500k Ω min.
Current:	4~20, 0~20mA DC (Multi input, programmable range: Refer to Table of Measuring Range Codes.)
Receiving impedance:	250 Ω
Sampling cycle:	0.3 sec
PV bias:	-2000~2000 unit
PV filter:	0.001~1.000
Isolation:	Insulated between input and output (not insulated between input and system, SV bias and CT input)

Control

Control mode:	Auto-tuning PID
Proportional band (P):	0~3000 unit (0=On-Off action)
Integral time (I):	0~3600 sec (0=P. PD action)
Derivative time (D):	0~900 sec (0=P. PI action)
On-Off hysteresis:	0.0~2000 unit
Proportional cycle:	0~150 sec
Higher and lower output limit:	0.0~100.0% (lower limit < higher limit)

Control output type / rating

Contact output	240V AC 6A / resistive load
Current output	4~20mA DC / load resistance: 600 Ω max.
SSR drive voltage output	24 \pm 2V DC / load current: 20mA max.
Voltage output	0~10V DC / load current: 2mA max.
Isolation:	Insulated between control output and system and input (not insulated between control output, P.V and analog output)

**Manual control**

Output setting range: 0.0~100.0% (setting resolution: 0.1%)
 Within range of higher / lower output limits
 Output resolution: 0.1%

Additional Functions (Optional)**Alarm output**

Alarm method: Individual setting and **individual** output, higher and lower limit alarms
 Alarm type: Deviation value alarm or absolute value alarm is selectable.
 Alarm setting range: Deviation value: ± 2000 unit
 Absolute value: 0~2000 unit
 Alarm action: On-Off action
 Action hysteresis: 1~999 unit (both higher and lower limits)
 Inhibit mode: Selectable (both higher and lower limits)
 Alarm output / rating: Contact 1a (common) / 240V AC 6A (resistive load)

Heater break alarm (optional)

Alarm action: Heater amperage detected by externally attached CT (CT provided)
 Alarm output On upon detection of heater break while output is On.
 Alarm output On upon detection of heater loop alarm while output is Off.
 Current setting range: 0.1~100.0A (Alarm action stops when Hba is disabled)
 Setting resolution: 0.1A
 Amperage display: 0.0~100.0A
 Display accuracy: 1%FS
Minimum time for action confirmation: On time: 250 msec. Minimum
 Alarm output / rating: Contact 1a / 240V AC 6A (resistive load)
 Sampling cycle: 0.3 sec
 Isolation: Insulated between CT input and output (not insulated between CT input and system and other inputs)

Analog output

Number of analog outputs: 1 point
 Analog output type: Selectable between process value (PV), set value (SV), Manipulated output value (MV), and absolute value of " PV-SV "
 Analog output: 0~10mV DC, Output resistance: 10 Ω
 0~10V DC, Load current: 2mA max.
 4~20 mA DC, Load resistance: 300 Ω max.
 Output accuracy: $\pm 0.3\%$ (of displayed value)
 Output resolution: Approx. 0.1%
 Output updating cycle: 0.2 sec
 Output scaling: Within measuring range
 Isolation: Insulated between analog output and system and input (not insulated between analog output and control output I)

Set value bias

Setting range: -2000~2000 unit
 Setting resolution: Same as display resolution
 Isolation: Insulated between set value bias input and output (not insulated between set value bias input and system and other inputs)



Others

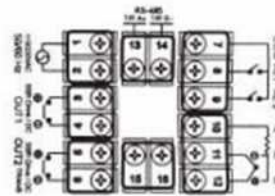
Data storage:	By non-volatile memory (EEPROM)
Operating ambient temperature / humidity range:	-10~50°C / 90% RH maximum (no dew condensation)
Supply voltage:	100~240V AC $\pm 10\%$ (50 / 60Hz),
Power consumption:	Max. 3.5VA (AC)
Insulation resistance:	Between input / output terminal and power supply terminal: 500V DC 4M Ω minimum
Dielectric strength:	1 min, at 2.3KV AC between input / output terminal and power supply terminals
Protective structure:	Only front panel has simple dust-proof and drip-proof structure.
Material:	ABS+PC
External dimensions:	MC-5438: H48 \times W48 \times D83mm MC-5538: H96 \times W48 \times D83mm MC-5638: H48 \times W96 \times D83mm MC-5738: H72 \times W72 \times D83mm MC-5838: H96 \times W96 \times D83mm
Panel cutout:	MC-5438: 46 \times 46mm MC-5538: 46 \times 91mm MC-5638: 91 \times 46mm MC-5738: 68 \times 68mm MC-5838: 91 \times 91mm
Weight:	MC-5438: Approx. 170g, MC-5538: Approx. 240g, MC-5638: Approx. 240g, MC-5738: Approx. 260g, MC-5838: Approx. 330g

MAXTHERMO

MC 5438 
48*48mm(DIN 1/6)



CONNECTING DIAGRAM

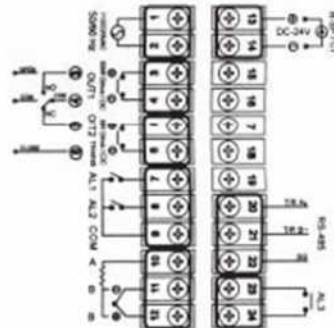


CUTOUT DIMENSION 46*46mm

MC 5538 
96*48mm(DIN 1/8)



CONNECTING DIAGRAM

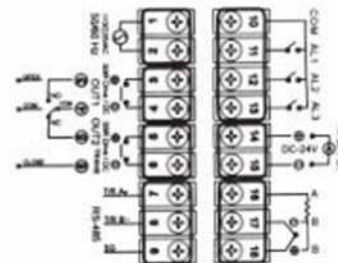


CUTOUT DIMENSION 46*91mm

MC 5738 
72*72mm(DIN 1/6)



CONNECTING DIAGRAM



CUTOUT DIMENSION 68*68mm

MAXTHERMO

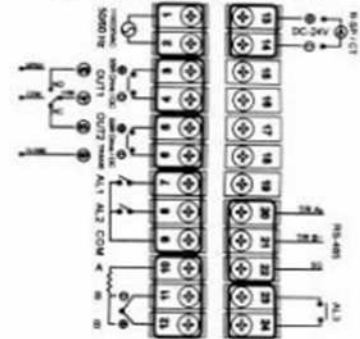
MC 5638

CE

96*48mm(DIN 1/8)



CONNECTING DIAGRAM



CUTOUT DIMENSION 91*46mm

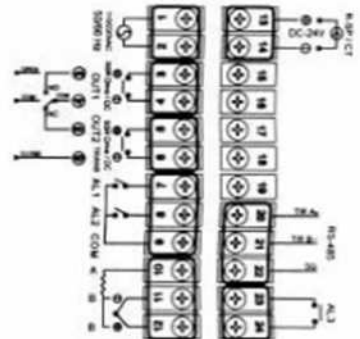
MC 5838

CE

96*96mm(DIN 1/4)



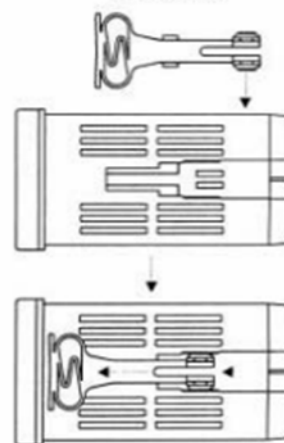
CONNECTING DIAGRAM



CUTOUT DIMENSION 91*91mm

MODEL	MC-5438	MC-5538 MC-5638	MC-5738	MC-5838
FUNCTIONS				
REMOTE SV		✓	✓	✓
HEATER BROKEN ALARM		✓	✓	✓
MOTOR VALVE		✓	✓	✓
SOFT START	✓	✓	✓	✓
DUAL OUTPUT	✓	✓	✓	✓
ALARM NUMBER	2	3	3	3
TRANSMISSION	✓	✓	✓	✓
PROGRAMMABLE	✓	✓	✓	✓
RS-485/RS-232	✓	✓	✓	✓

How to Fix



ORDER INFORMATION

M C - **5** **4** **3** **8** - **1** **0** **1** - **0** **0** **0**
A B C D E F G

A: Model No:

MC-5438 for 48 X 48mm (DIN 1/16), MC-5538 for 48 X 96mm (DIN 1/8),
MC-5638 for 96 X 48mm (DIN 1/8), MC-5838 for 96 X 96mm (DIN 1/4),
MC-5738 for 72 X 72mm

B: Out 1 control output mode

0-None
1-Relay,contact,SPDT 3A/240VAC
2-Volt,voltage pulse, 20VDC/20mA
3-mA Curent,4~20mA
4-Open loop circuit servo motor control
A- 0~5V
B- 0~10V
C- 1-5V
D- 2~10V

E: Transmission

0- None
1- 4~20mA (Adjustable)
2- 0~20mA (Adjustable)
A- 0~5V
B- 0~10V
C- 1~5V
D- 2~10V

C: Out 2 control output mode

0-None
1-Relay,contact,SPDT 3A/240VAC
2-Volt,voltage pulse, 20VDC/20mA
3-mA Curent,4~20mA
A- 0~5V
B- 0~10V
C- 1-5V
D- 2~10V

F: Second Input

0-None
1- 4~20mA remote set point
2- 0~20mA remote set point
3- CT for Heater break alarm
A- 0~5V remote set point
B- 0~10V remote set point
C- 1~5V remote set point
D- 2~10V remote set point

D: Alarm

0- None
1- One set alarm
2- Two set alarm
3- Three set alarm

G: Communication

0-None
1-RS232
2-RS485

*C & E are used the same terminal so one function is available only but
C & E & F one function is available only in MC-5438

MAXTHERMO®

MAXTHERMO-GITTA GROUP CORP

MAXTHERMO®



Series
RM

Rate-Master® Flowmeters

Polycarbonate, Gas Flow from 0.05-1800 SCFH, Water Flows to 10 GPM

Flow



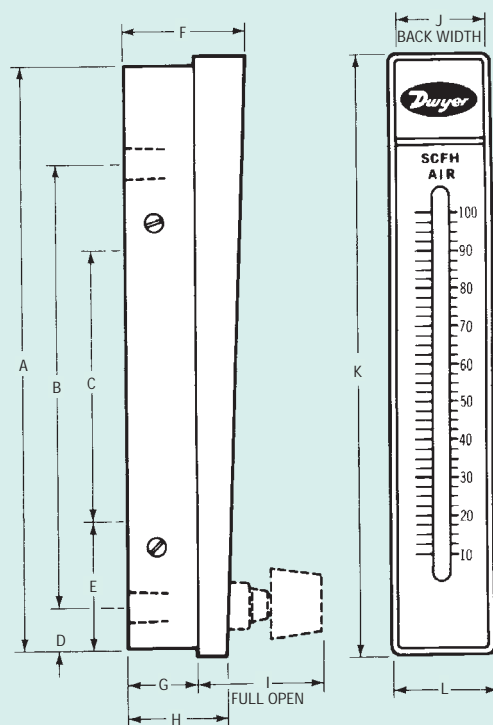
Model RMC-SSV 10"
scale, 15-3/8" high



Model RMB-SSV 5"
scale, 8-3/4" high



Model RMA-SSV 2"
scale, 4-13/16" high



Dimension in Inches			
	Model RMA	Model RMB	Model RMC
A	4-9/16	8-1/2	15-1/8
B	3 1/8 NPT Conn.	6-7/16 1/4 NPT Conn.	12-1/4 1/2 NPT Conn.
C	1-5/8 10-32 Thds.	3-15/16 1/4-20 Thds.	8-3/4 3/8-24 Thds.
D	3/8	5/8	1
E	1-1/16	1-7/8	2-3/4
F	1-3/16	1-3/4	2-1/4
G	3/4	1	1-7/16
H	1	1-7/16	1-31/32
I (OPEN)	1-3/8	1-13/16 (BV or SSV MODELS ONLY)	2-1/2
J	3/4	1-1/4	2
K	4-13/16	8-3/4	15-3/8
L	1	1-1/2	2-1/4

The Rate-Master® flowmeter line of direct reading precision flowmeters incorporates many unique user features at moderate cost. These low cost flowmeters are ideal for general use.

Easy to read design – The direct reading scales eliminate troublesome conversions. The scales are brushed aluminum, coated with epoxy and the graduations are on both sides of the indicating tube. Special integral flow guides stabilize the float throughout the range to keep it from hunting or wandering in the bore. The float is highly visible against a white background.

Construction assures accuracy – All Rate-Master® flowmeter bodies are injection molded of tough, clear, shatter-proof polycarbonate plastic around a precision tapered pin. The result is accurate and repeatable readings. The single piece plastic body is mounted to a stainless steel back bone into which pipe thread inserts are welded to absorb piping torque. Precision metering valves of brass or stainless steel (specify BV or SSV on order) are available as an optional extra and permit precise flow adjustments. For vacuum applications, Model RMA units are available with top mounted valves (specify TMV). The small Series RMA models are accurate within $\pm 4\%$ of full scale reading; Series RMB within $\pm 3\%$; large Series RMC within $\pm 2\%$.

Installation is simple – The Rate-Master® Flowmeter can be neatly panel mounted to keep flow tube centers in the same plane as the panel surface or surface mounted on the panel by means of tapped holes in the backbone. When through-panel mounted, the bezel automatically positions the instrument at the correct depth in the panel cutout. Surface mounted units can also be held in place by the piping. All mounting hardware plus installation and operating instructions are included.

Easy-to-Interchange bodies – Within a given Series Rate-Master® flowmeter bodies can be instantly interchanged. Simply “unplug” the body from backbone and replace it with another. “O” rings provide a tight seal on inlet and outlet. Piping remains undisturbed. Interchangeability is useful where different scale ranges are sometimes required at the same location in the laboratory or plant.

Cleaning is easy – To release the plastic flowmeter body from the stainless steel backbone, just remove four screws. Pipe thread flow connections remain undisturbed. Remove the slide cover and the plug ball stop, clean the flow tube with soap and water and reassemble. It's that simple.

How To Order

Series-Range No.-Valve-Option

Example: RMA-2-SSV

Series RMA with .1-1 SCFH Air Range & Stainless Steel Valve

SPECIFICATIONS

Service: Compatible gases and liquids.

Wetted Materials: Body: Polycarbonate; O-ring: Neoprene & Buna-N; Metal Parts: Stainless Steel (except for optional brass valve); Float: Stainless steel, black glass, aluminum, K monel, tungsten carbide depending on range.

Temperature Limit: 130°F (54°C).

Pressure Limit: 100 psi (6.9 bar).

Accuracy: RMA: 4%, RMB: 3%, RMC: 2% of full scale.

Process Connection: RMA: 1/8", RMB: 1/4", RMC: 1/2" female NPT.

Weight: RMA: 4 oz (113.4 g), RMB: 13 oz (368.5 g), RMC: 39 oz (1105.6 g).

Model RMA

Model RMA-X, Standard RMA

Model RMA-X-BV, RMA with Brass Valve

Model RMA-X-SSV, RMA with Stainless Steel Valve

Model RMA-X-TMV, RMA with Top Mounted Valve

Model RMB

Model RMB-X, Standard RMB

Model RMB-X-BV, RMB with Brass Valve

Model RMB-X-SSV, RMB with Stainless Steel Valve

Model RMC

Model RMC-X, Standard RMC

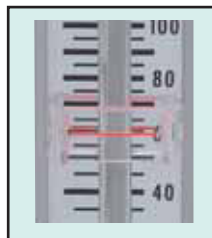
Model RMC-X-BV, RMC with Brass Valve

Model RMC-X-SSV, RMC with Stainless Steel Valve

CAUTION

Dwyer® Rate-Master® flowmeters are designed to provide satisfactory long term service when used with air, water, or other compatible media. Refer to factory for information on questionable gases or liquids. Cautic solutions, anti-freeze (ethylene glycol) and aromatic solvents should definitely not be used.

OPTIONS & ACCESSORIES



Adjustable pointer flags – Red lined pointer flags provide quick visual reference to a required flow level. Of clear plastic, they snap into place inside bezel and slide to desired level.



Top Mounted Metering Valves – Same precision construction for vacuum applications. RMA models only.

Specials – Special ranges, scales, mounting arrangements, etc., are available on special order, or in OEM quantities.

Model RMA-X-APF, Adjustable Pointer Flag for RMA Series

Model RMB-X-BPF, Adjustable Pointer Flag for RMB Series

Model RMC-X-CPF, Adjustable Pointer Flag for RMC Series

Model RKA, Regulator Kit for RMA Series

Model RK-RMB, Regulator Kit for RMB Series

Popular Ranges

Model RMA-2" Scale		Model RMB-5" Scale		Model RMC-10" Scale	
Range SCFH Air	Range No.	Range SCFH Air	Range No.	Range SCFH Air	Range No.
.05-.5	1	.5-5	49+	5-50	101
.1-1	2	1-10	50	10-100	102
.2-2	3	3-20	51	20-200	103
.5-5	4	4-50	52	40-400	104
1-10	5	10-100	53	60-600	105
2-20	6	20-200	54	100-1000	106
5-50	7	40-400	55	120-1200	107
10-100	8	50-500	56	200-1800	108
15-150	9	60-600	57		
20-200	10				
CC Air/min.		Gal. Water per hour		SCFM Air	
5-50	151*	1-12	82	1-10	121
10-100	150*	1-20	83	2-20	122
30-240	11	4-40	84	4-30	123
50-500	12	10-100	85		
100-1000	13	SCFH & LPM Air		Gal. Water per hour	
200-2500	14			2-20	134
LPM Air				8-90	135
.5-5	26	1.2-10/0.6-5	50D	Gal. Water per minute	
1-10	21	3-20/1.5-9.5	51D		
2-25	22	4-50/2-23	52D	.1-1	141
5-50	23	10-100/5-50	53D	.2-2.2	142
5-70	24	20-200/5-95	54D	.4-4	143
10-100	25	GPH & LPM Water		.8-7	144
CC Water/min.				1.2-10	145
5-50	32	1-12/0.06-0.76	82D		
10-110	33	1-20/0.065-1.25	83D		
20-300	34	10-100/0.8-6.2	85D		
Gal. Water/hr					
1-11	42				
2-24	43				
4-34	44				
5-50	45				

*Accuracy ±8%

+Accuracy ±5%

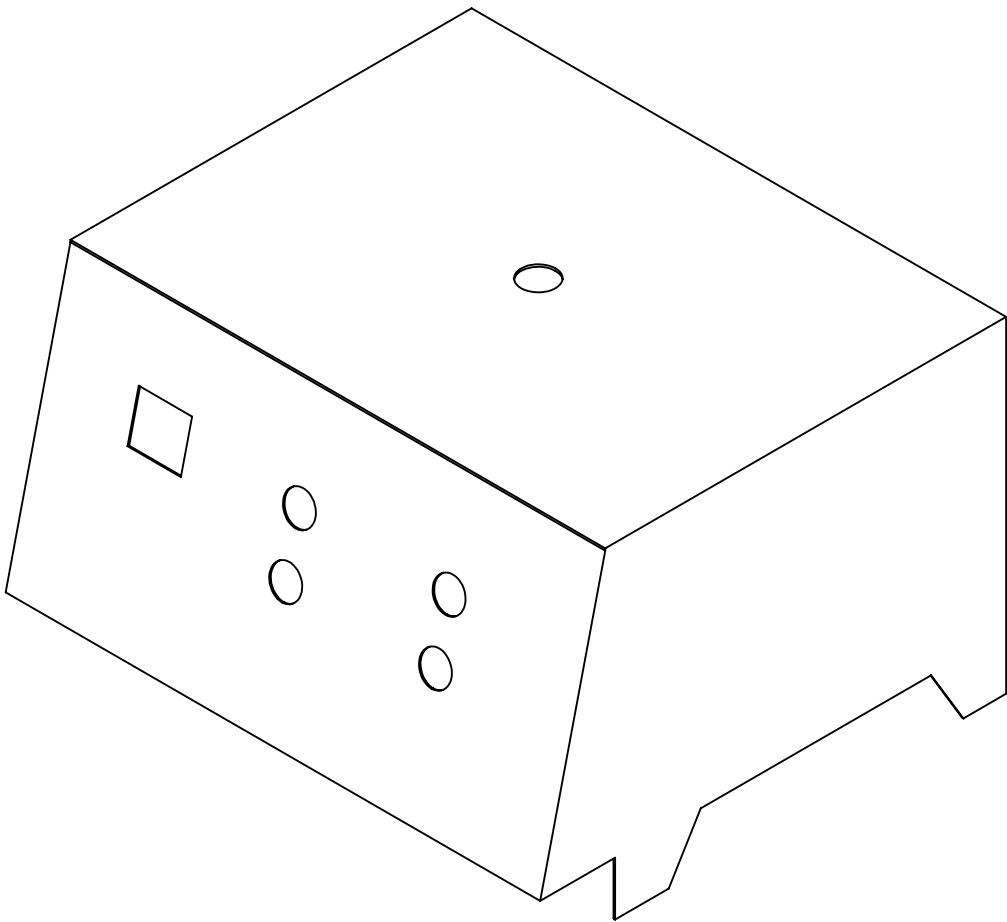
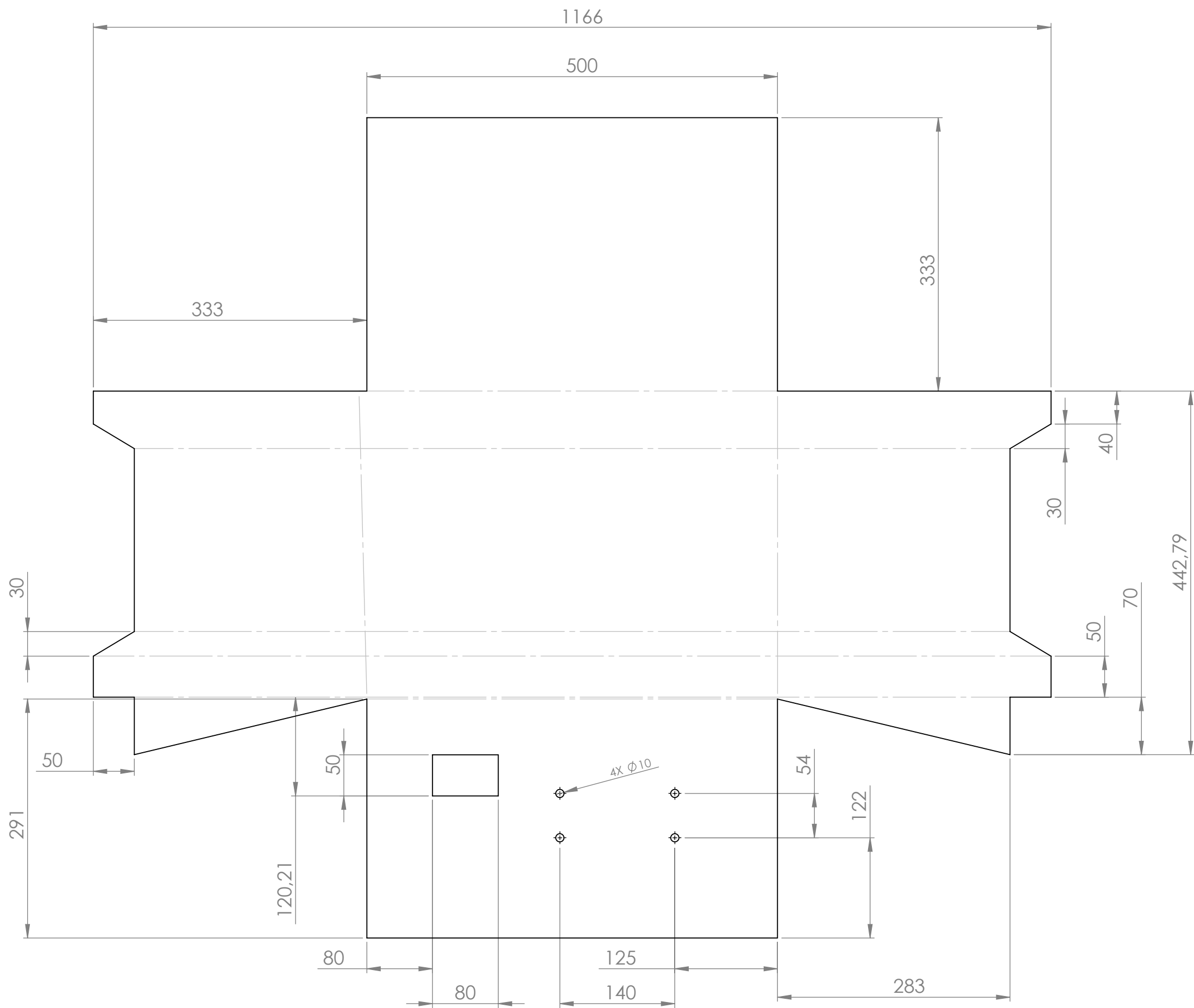
CALL TO ORDER: U.S. Phone 219 879-8000 • U.K. Phone (+44) (0)1494-461707 • Asia Pacific Phone 61 2 4272-2055

171

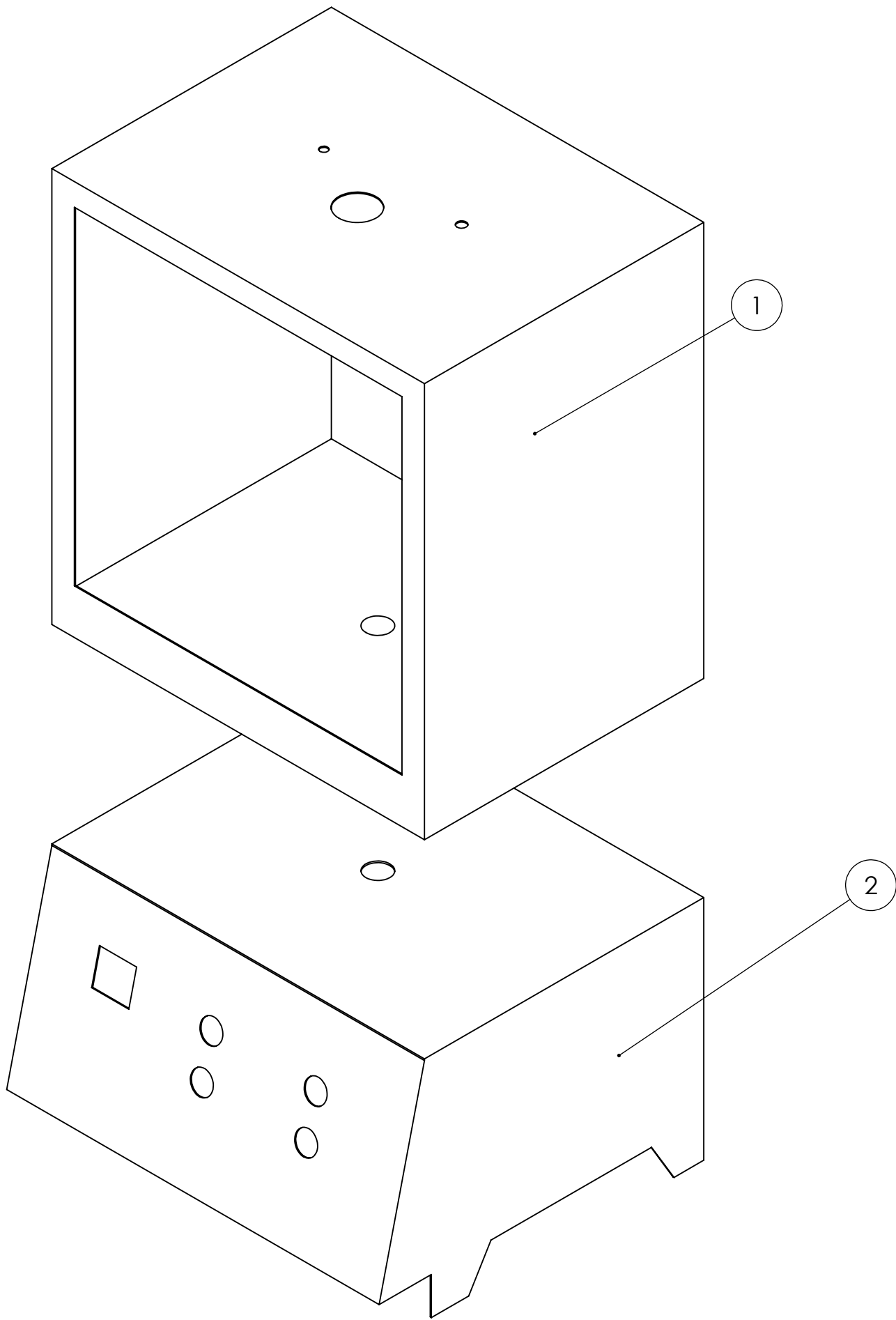
ANEXO 4

PLANOS

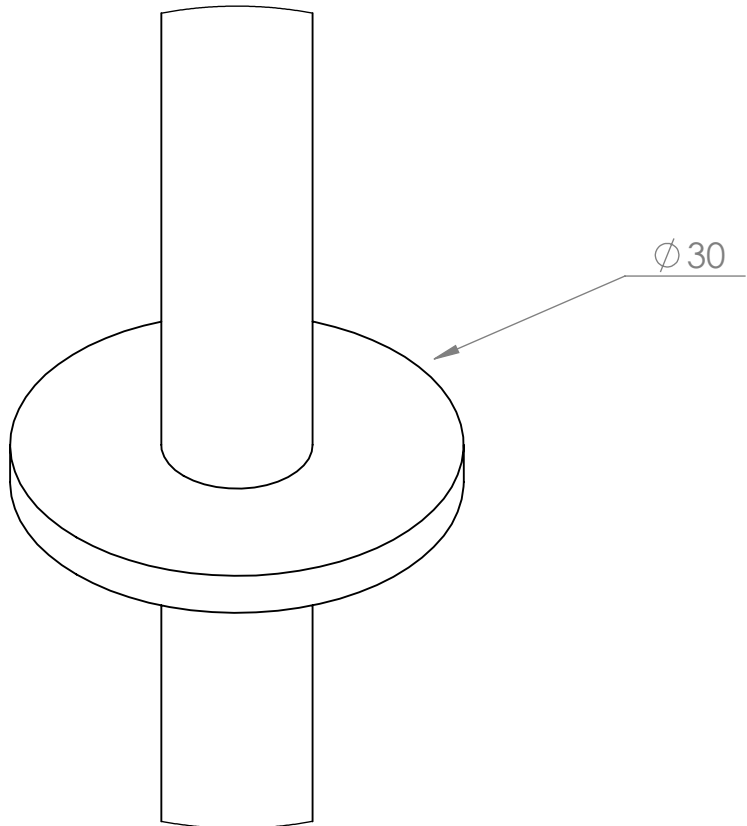
1	Estructura inferior horno	Lamina Cold rolled de 1,56 mm de espesor	1
No de Elemento	Nombre de la Pieza	Material y espesor	Cantidad



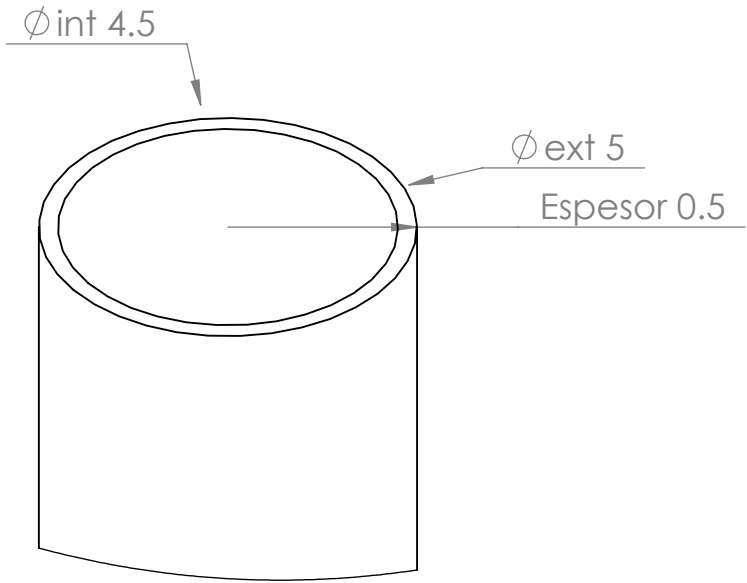
1	Parte superior estructura pieza	Plano No 1	1
1	Nombre de la pieza	Material y espesor	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Numero de Plano	CANTIDAD



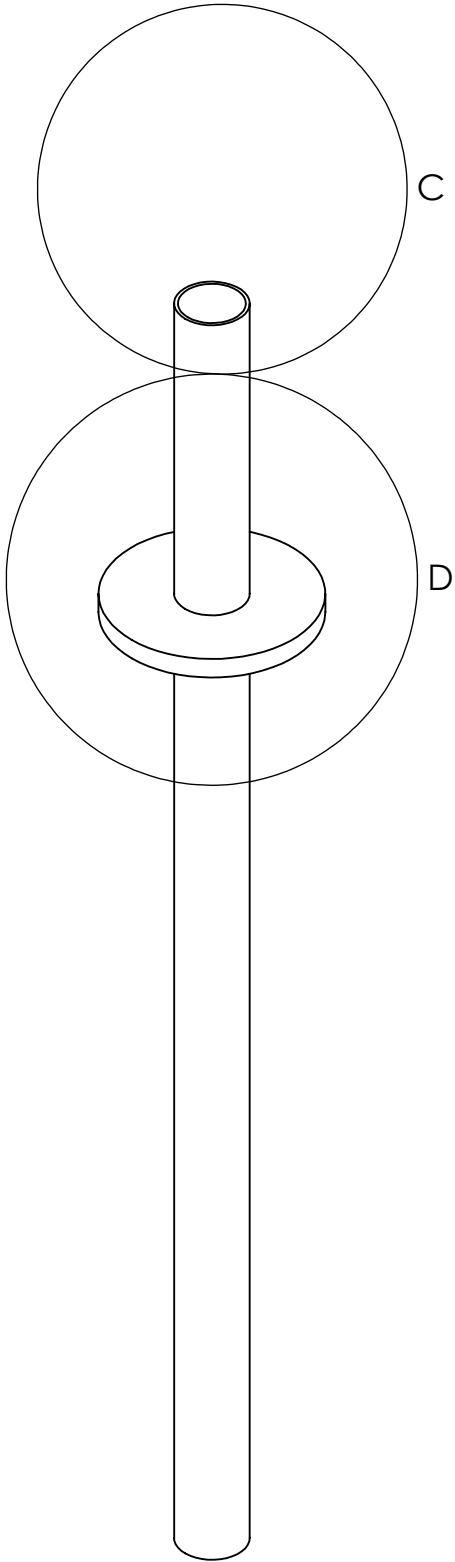
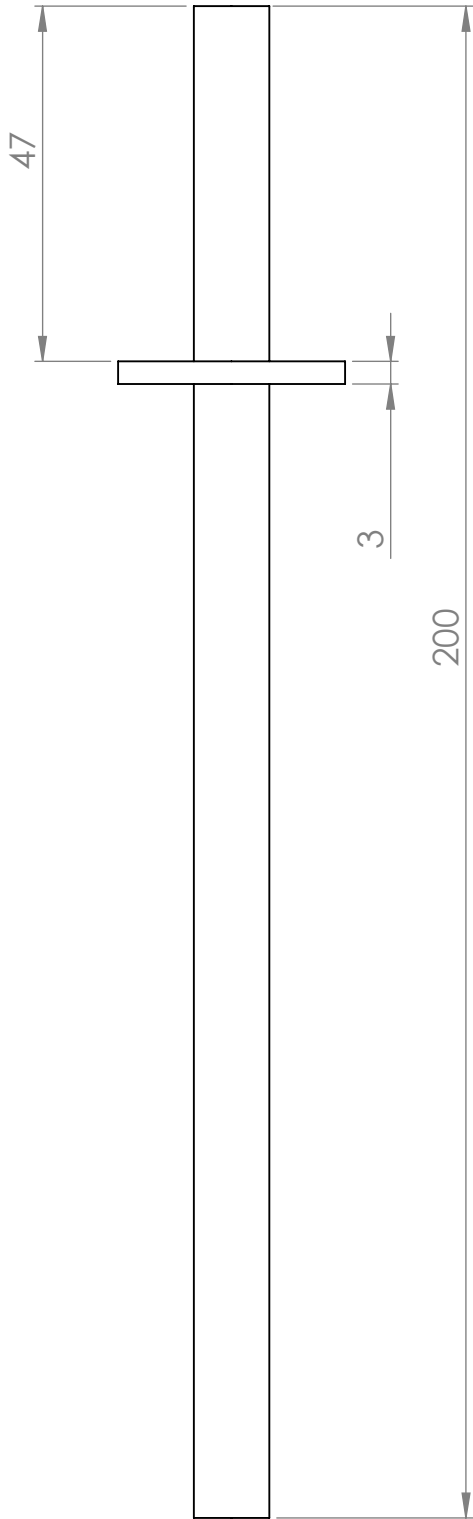
1	Tubo alcohol	Acero Inoxidable	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD



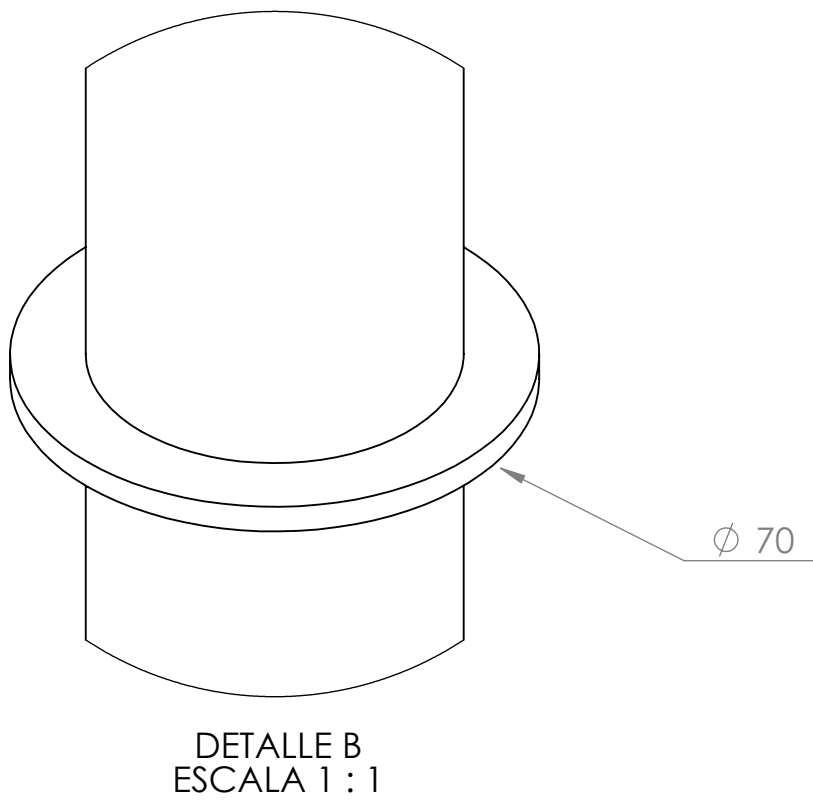
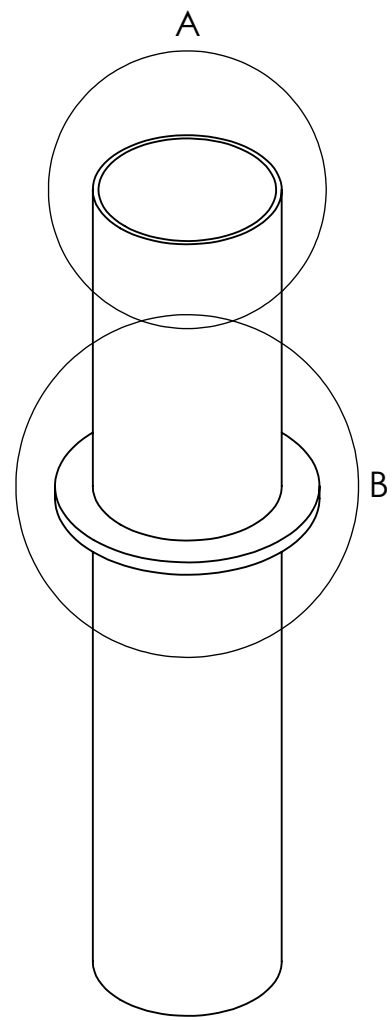
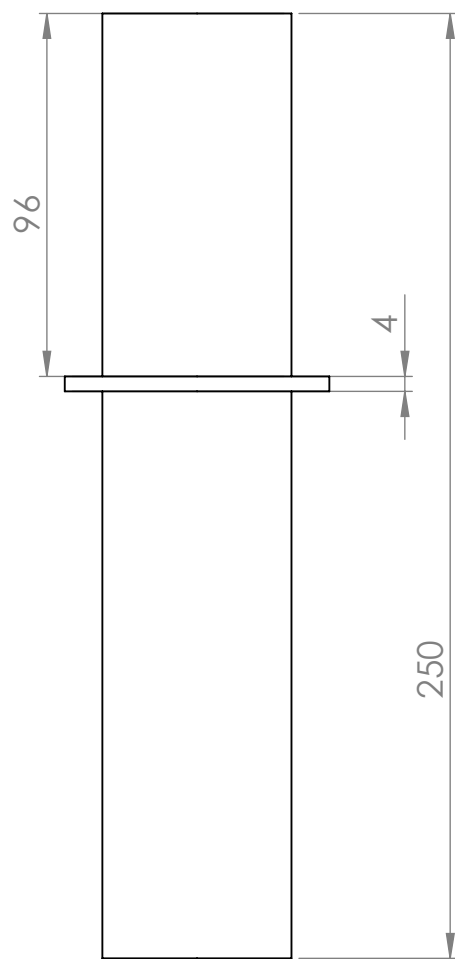
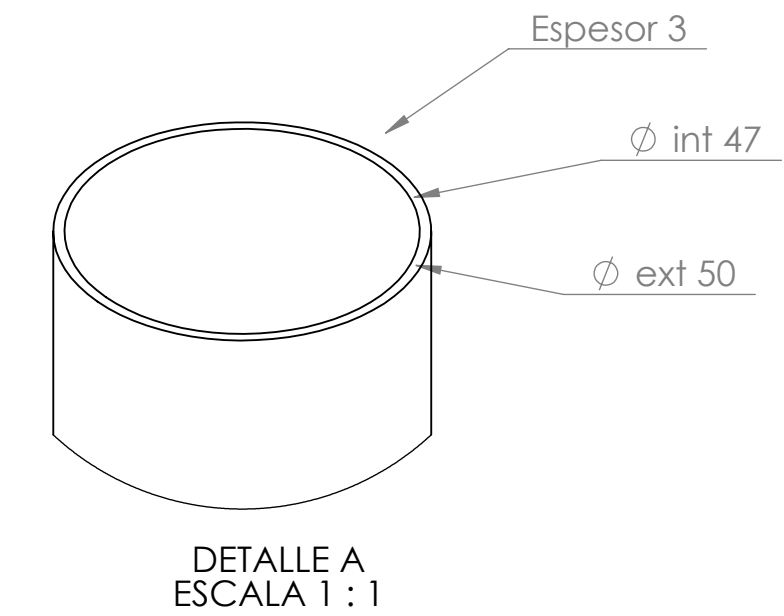
DETALLE D
ESCALA 2 : 1



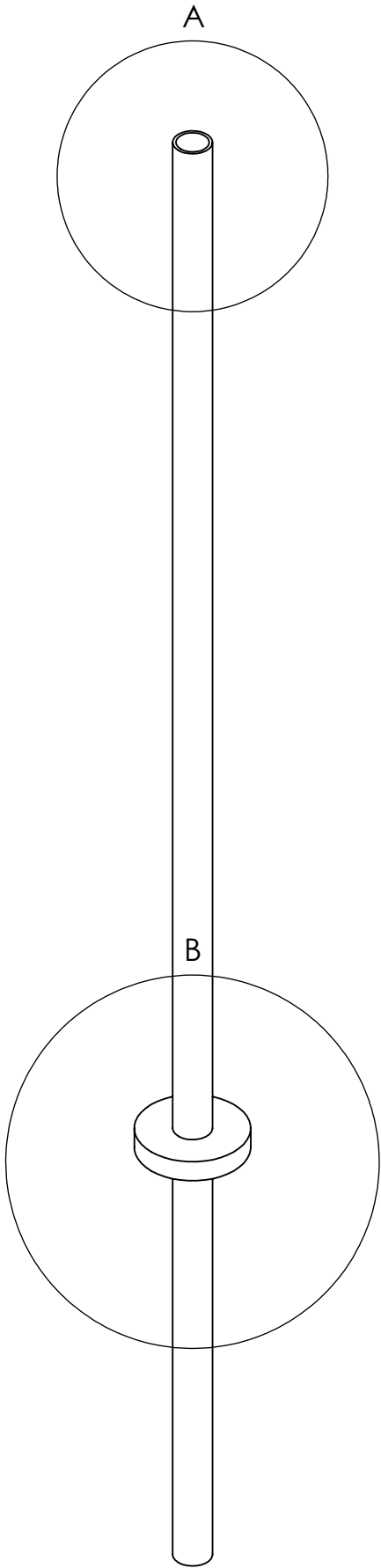
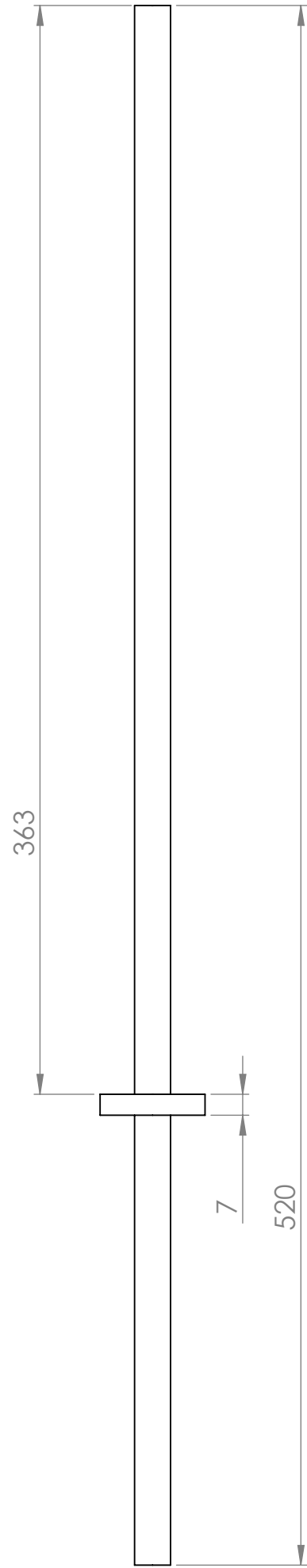
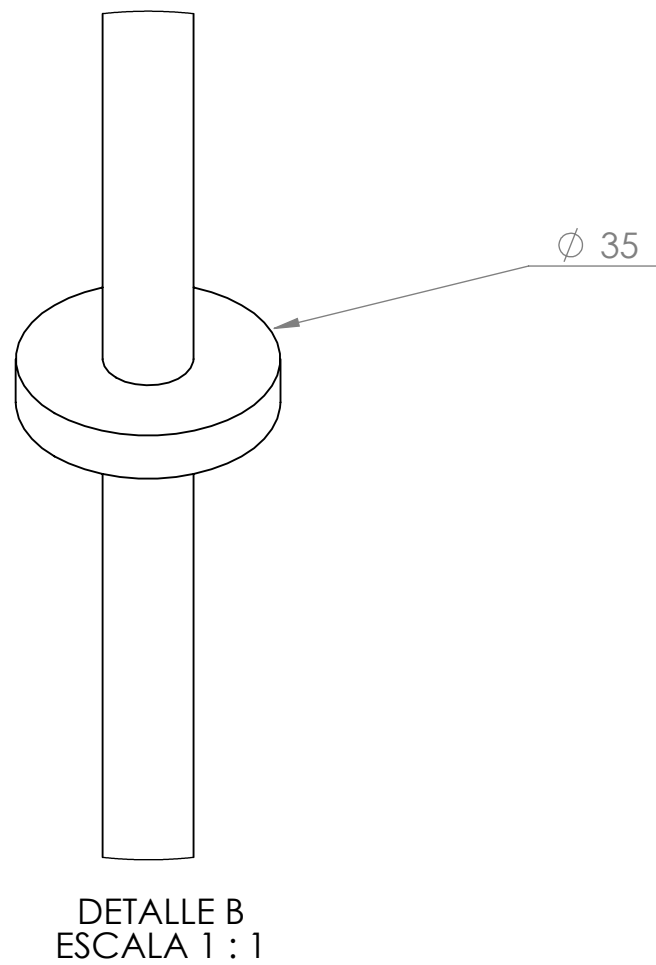
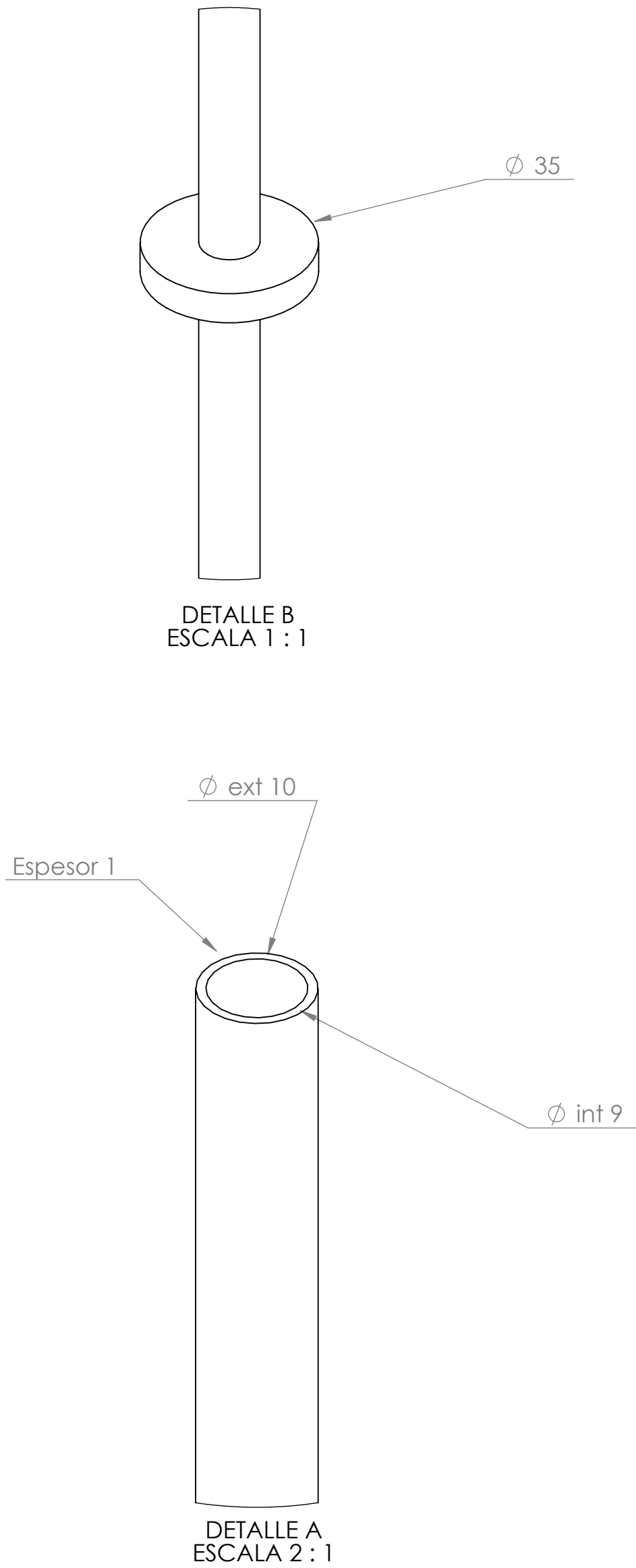
DETALLE C
ESCALA 5 : 1

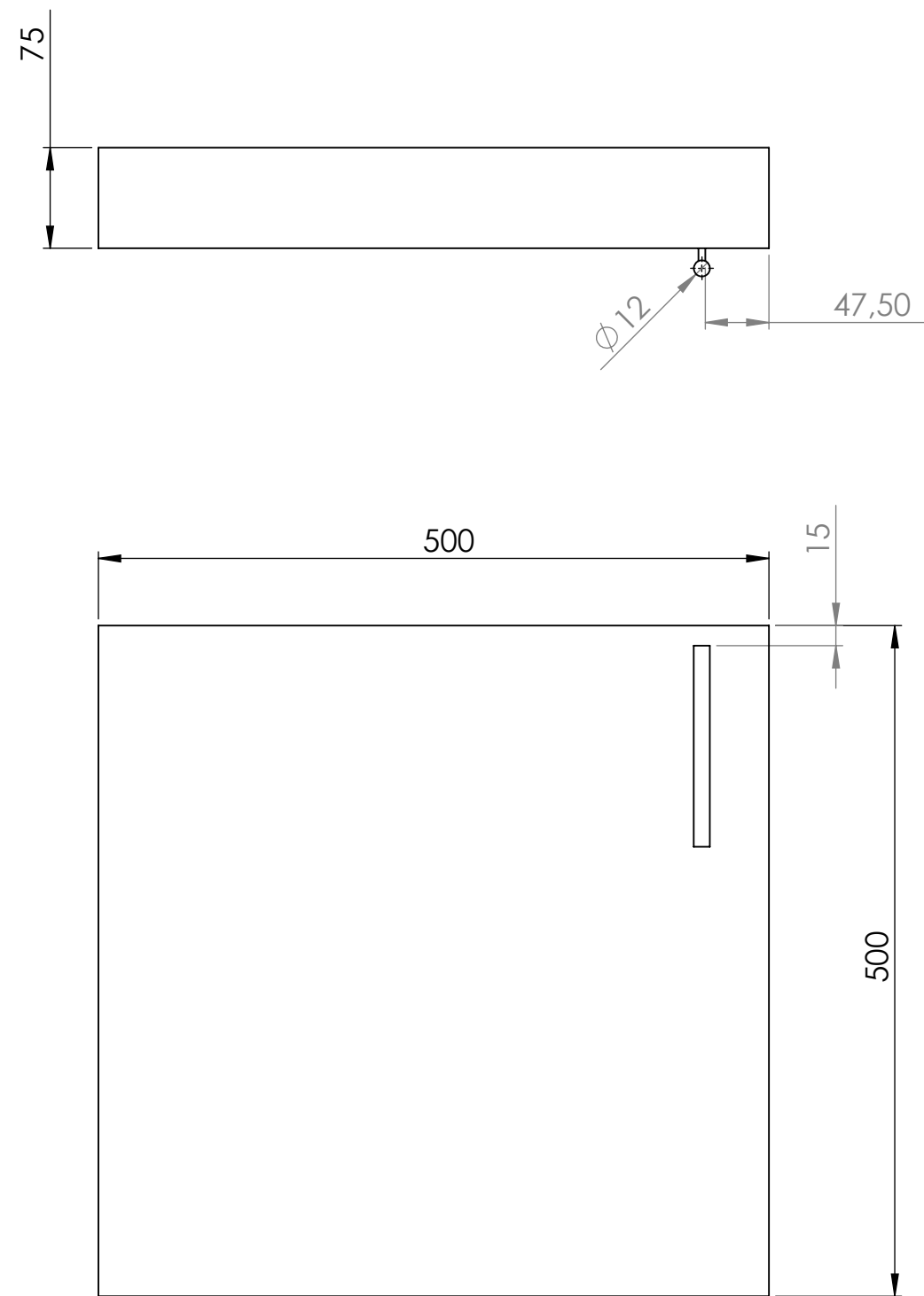


1	Tubo probetas	Acero Galvanizado	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD

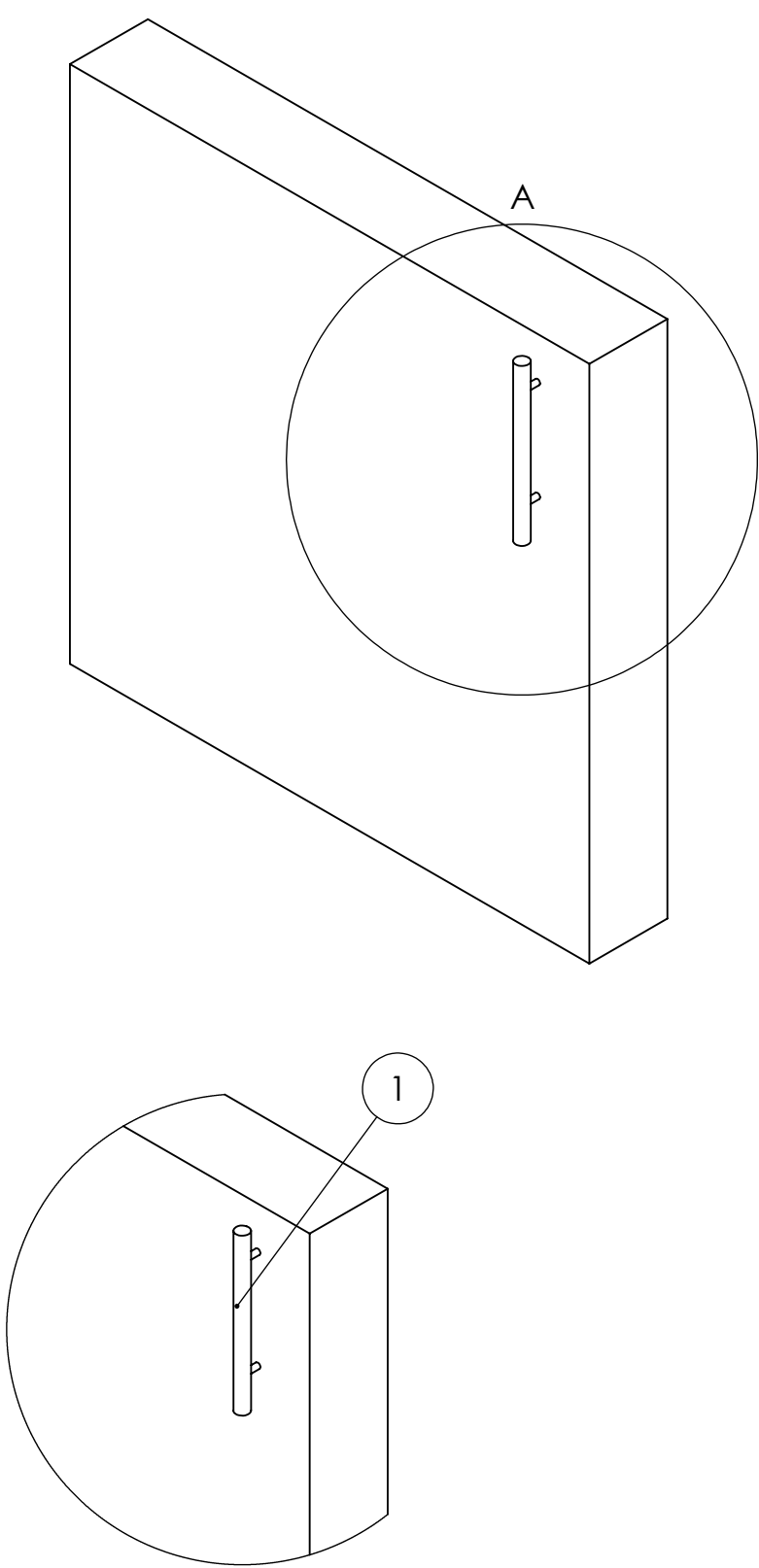


1	Tubo desfogue	Acero Inoxidable	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD



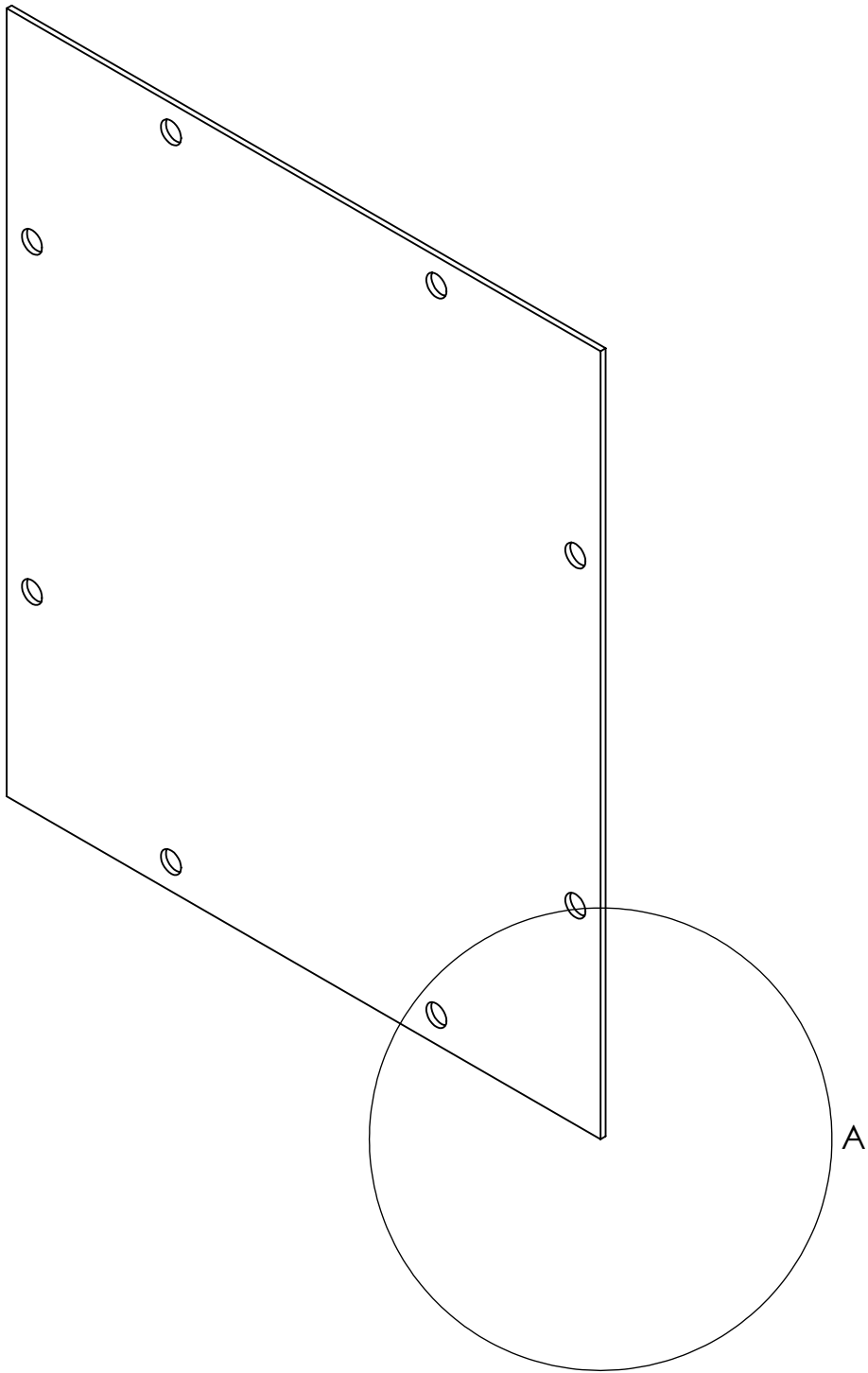
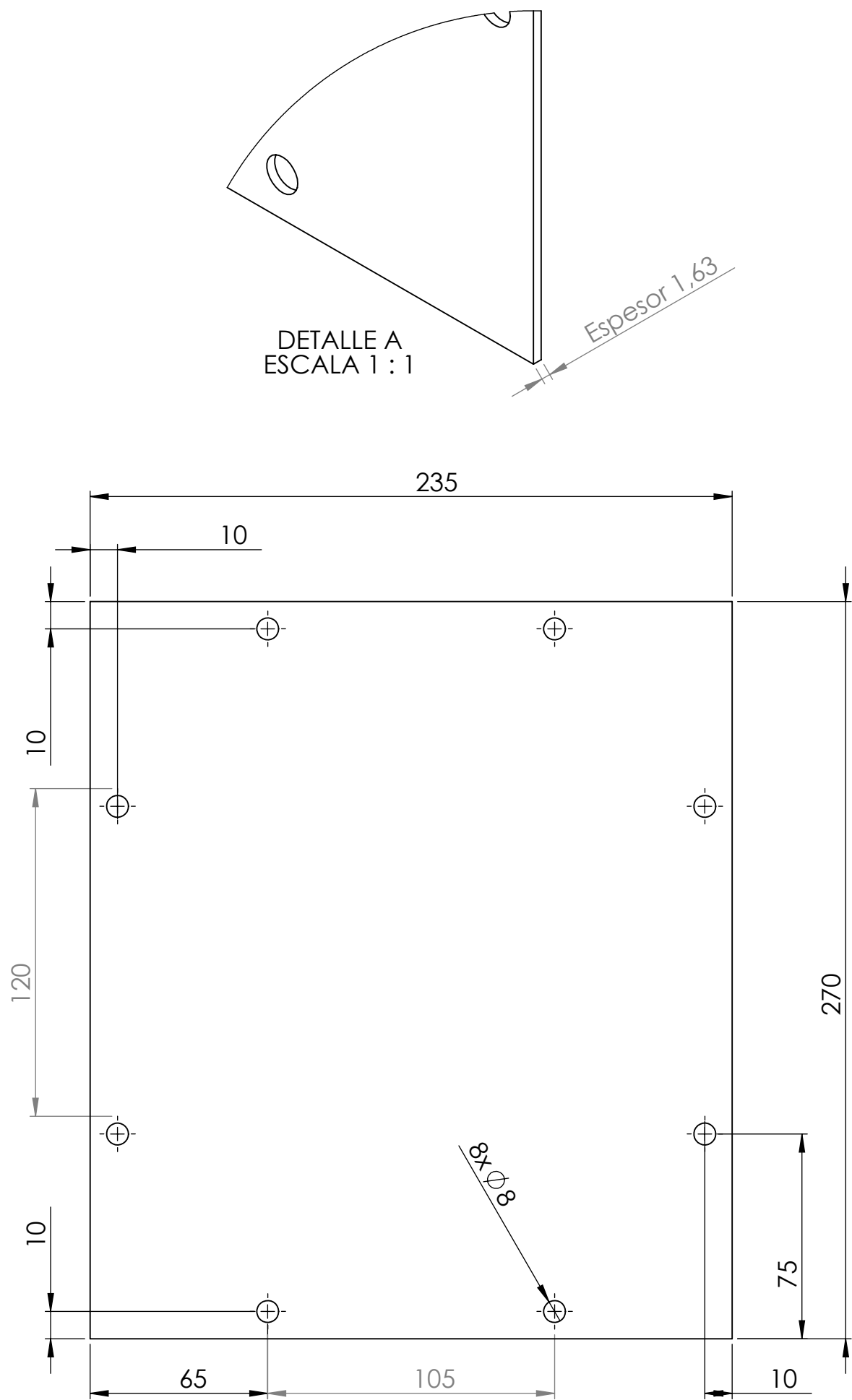


1	Manija	Manija en acero inoxidable	1
2	Puerta	Lamina Cold roles de 1,56 mm	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD

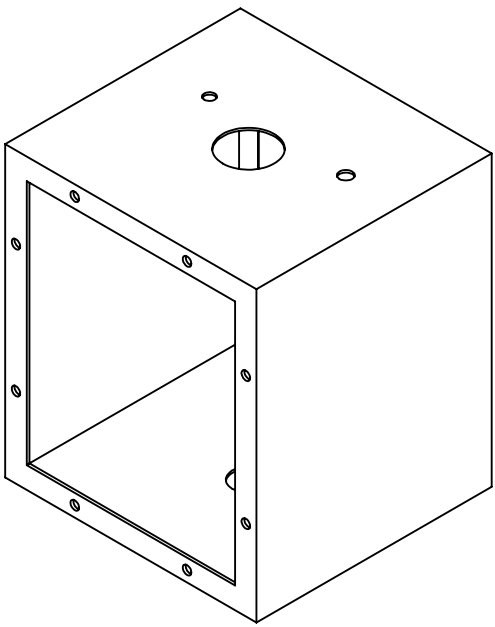
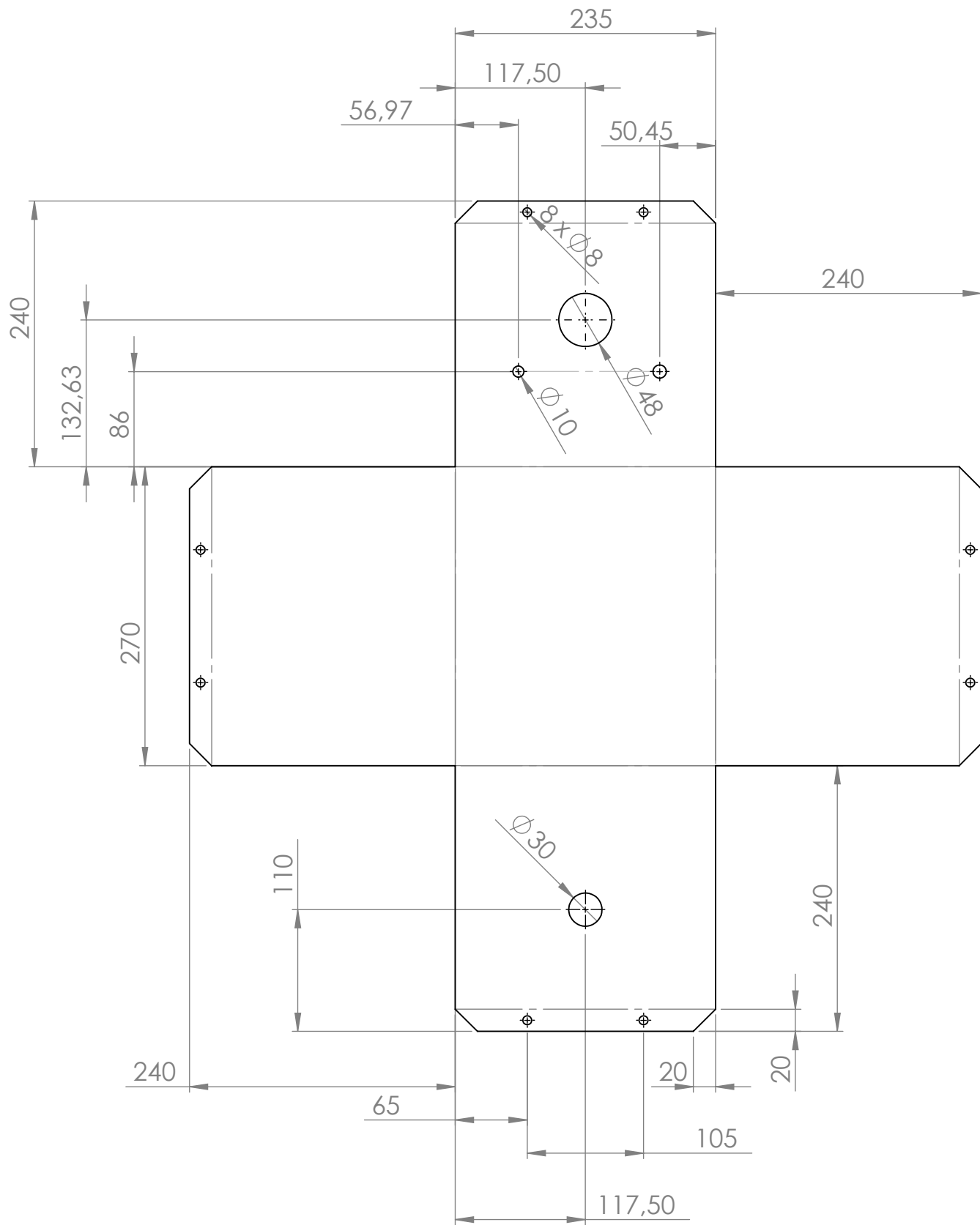


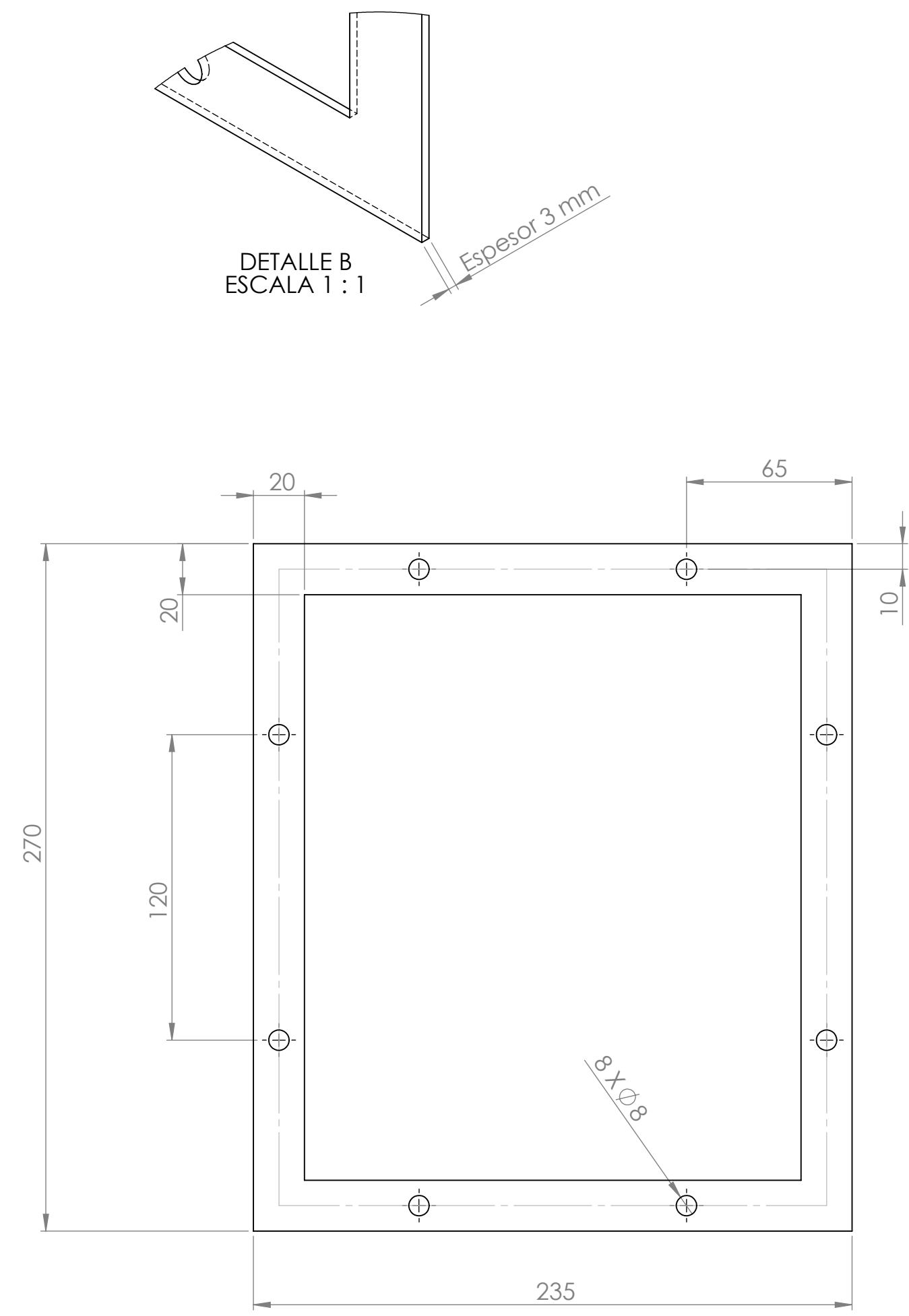
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

1	TAPA RECAMARA	Acero inoxidable de 1,56 mm de espesor	1
No de ELEMENTO	Nombre de la pieza	Material y espesor	Cantidad

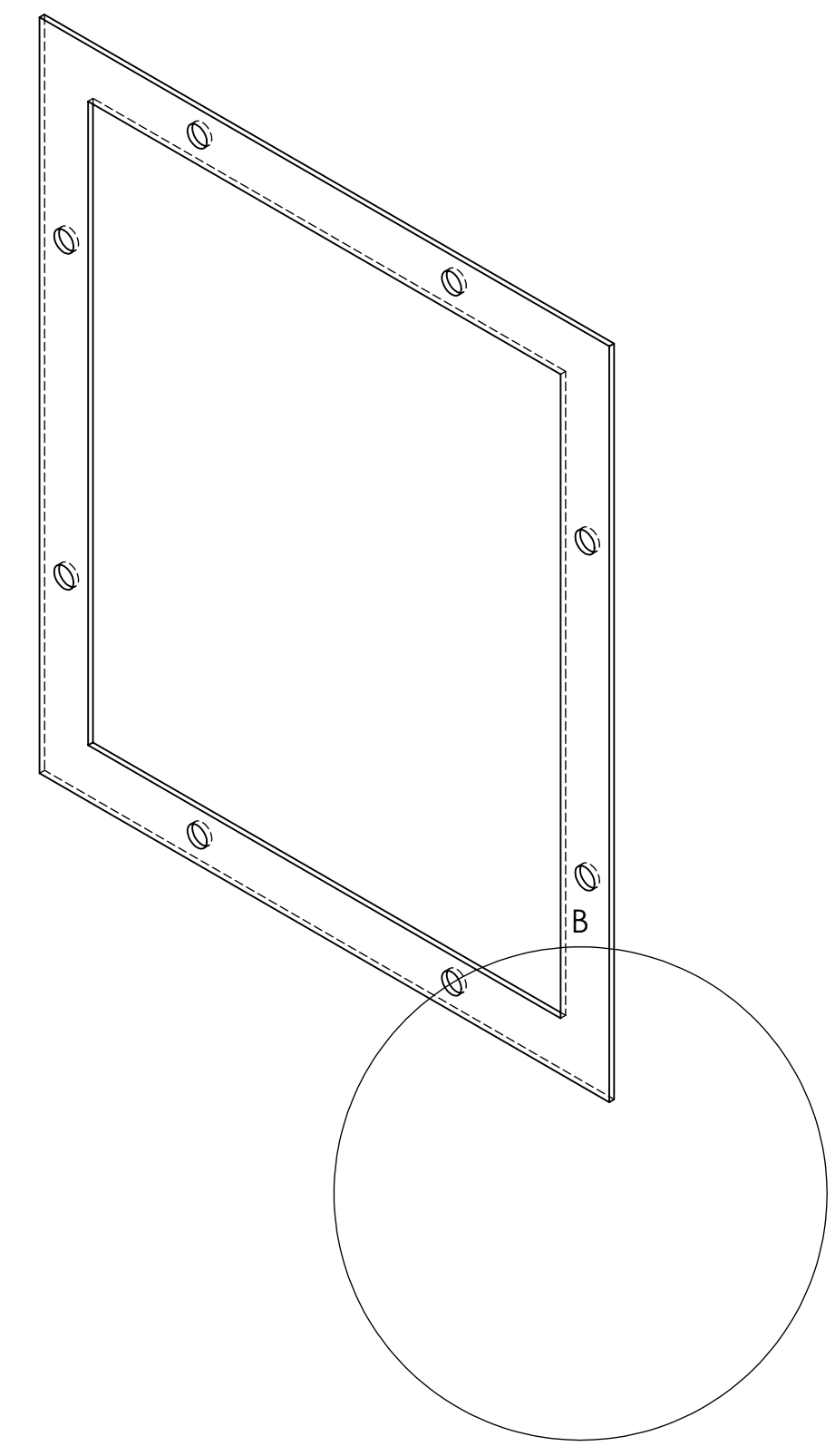


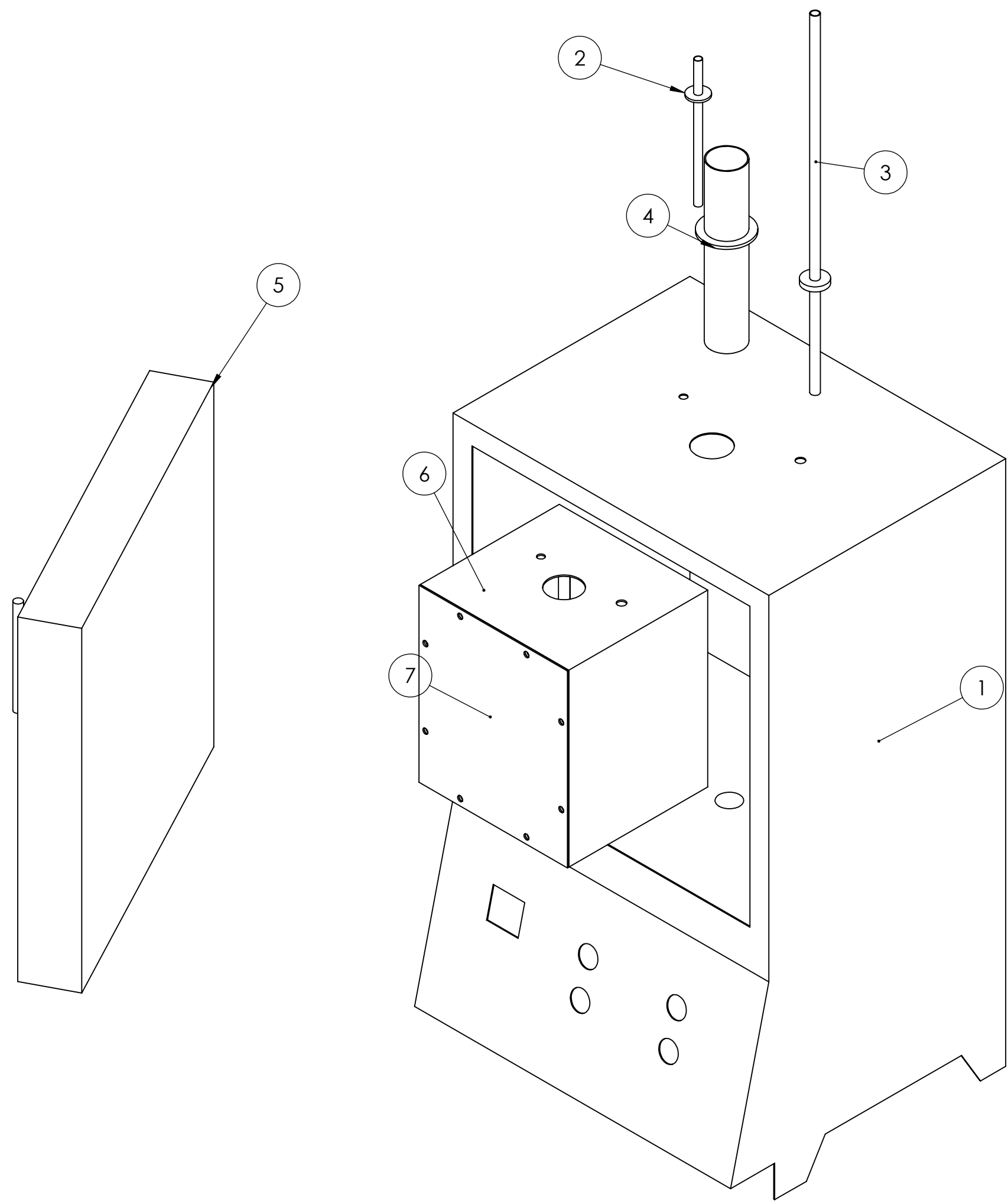
1	RECAMARA	Acero inoxidable de 1,63 mm de espesor	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD





1	Empaque tapa recámara	Grafito de 3 mm de espesor	1
No elemento	Nombre de la pieza	Material y espesor	Cantidad



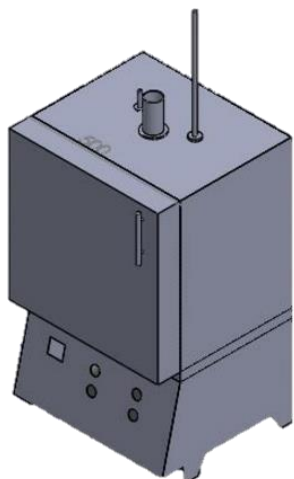


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	PLANO No
1	Estructura horno	1	1, 2 Y 9
2	Tubo alcohol	1	3
3	Tubo desfogue	1	4
4	Tubo probetas	1	5
5	Puerta	1	6
6	RECAMARA	1	7
7	Nombre de la pieza	1	8

Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.

ANEXO 5: MANUAL DE OPERACIONES

MANUAL DE USO



HORNO DE CEMENTACION GASEOSA POR GOTEO DE ALCOHOLES

**ANDRES FELIPE SUAREZ
SEBASTIAN QUINTERO**

**UNIVERSIDAD LIBRE
2017**

El Horno para cerámica Modelo 1000-220, es un equipo que ha sido fabricado bajo especificaciones técnicas, el cual permite realizar procesos a temperaturas MÁXIMO de 1000 °C.

Su diseño fue pensado para una fácil operación y un rápido mantenimiento para así garantizar las mejores condiciones de trabajo

1. Indicaciones de seguridad importantes

Leer con atención las siguientes instrucciones, solo así se puede manejar el equipo de forma correcta y segura. Conservar las instrucciones de uso para utilizarlas más adelante o para futuros proyectos de la Universidad Libre.

2. Advertencias generales para la seguridad

Para su seguridad y evitar daños al equipo, cumplir siempre con las advertencias generales de seguridad que se indican a continuación. En general.

****** Operar el horno siempre con el uso de elementos de protección personal (Botas, guantes, bata u overol y gafas).

****** Usar la conexión eléctrica correspondiente para evitar daños en el control.

****** En caso de tener cabello largo, usar cofia.

****** Los líquidos manejados deben ser manipulados como fluidos inflamables.

3. Proceso de cementación

****** Se recomienda que durante todo el proceso se mantenga cerrada la tapa del horno para que el calentamiento sea más rápido, evitando así pérdidas de calor.

3.1 Encendido del equipo

Después de verificar que la red de poder eléctrica tanto del horno a 220V, como del motor a 110V estén correctamente conectadas, se procede a encender el equipo con la perilla hacia la derecha luz verde; seguido del motor con la perilla a

la derecha luz naranja de la caja de control. (Ver imagen a).



Imagen a.

3.2 Alimentación del tanque

Mezclar un 98% de alcohol metanol por un 2% de alcohol isopropílico (esto basado en tablas ya parametrizadas por ensayos para el proceso de cementación por goteo de alcoholes).

- Se recomienda que antes de verter el alcohol, se verifique que la válvula del tanque esté cerrada para evitar derrames del mismo. (Ver imagen b).



Imagen b.

- Verter la mezcla por la parte superior del tanque (ver imagen c).



Imagen c.

- Verificar conexiones de la manguera-tanque, manguera - flujometro y manguera - tubo para la correcta salida del alcohol (Ver imagen d).



Imagen d.

** En caso de cambio de manguera por rotura o desgaste, favor dirigirse al manual de mantenimiento.

** Al finalizar el proceso de cementación, retirar la tapa del tanque y lavar con agua para la conservación del mismo, ya que los alcoholes son altamente corrosivos.

3.3 Ingreso de probetas

- Al ingresar las probetas por la parte superior del horno en el tubo de ingreso de probetas. "parte 4" según tabla de componentes, tenga en cuenta retirar el tapón y sujetar las probetas con el gancho saliente en forma de U (Ver imagen e).

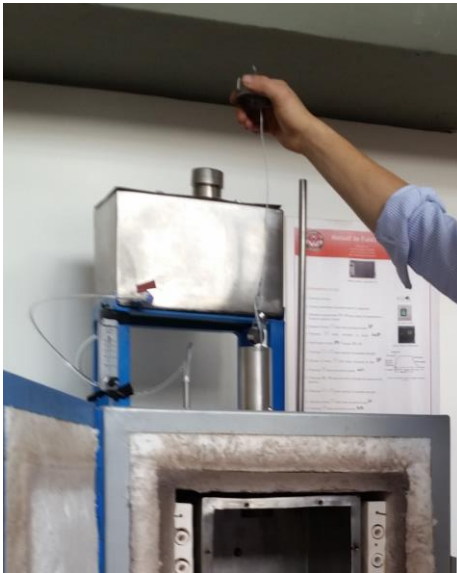


Imagen e.

NOTA

** Si se requiere abrir la recámara para verificar el buen funcionamiento de las aspas del ventilador y la posición de las probetas, retire los tornillos de la recámara (ver imagen f y g).



Imagen f.



Imagen g.

3.4 Control de temperatura

Para el manejo del control de temperatura se debe reconocer el panel digital que maneja el control en la caja. Para este caso es un Controlador con referencia Masthermo MC 5438



Programación del equipo para hacer curva de temperatura:

- Oprimir el botón F/S sostenido por dos segundos en la pantalla aparece las letras USER, continuamos con las flechas a la izquierda << (titila la palabra

user). Para elegir seguido de la flecha hacia arriba ^ buscamos la palabra PROGRAM. Pulsamos el botón F/S (sin sostener) para aceptar la acción.

- Pulsamos el botón F/S sostenido por dos segundos soltamos y nuevamente el botón F/S (sin sostener) clic hasta que en la pantalla aparezcan las letras ENDS (cantidad de rampas a manejar que varían de 1 hasta 8) con las flecha a la izquierda << solicitamos elegir y con las flechas hacia arriba y abajo elegimos el número de rampas luego pulsamos el botón F/S para aceptar la acción

- Pulsamos el botón F/S para que en la pantalla aparezca las letras SU1 (programar temperatura) con la flecha << a la izquierda solicitamos elección y con la flecha ^v arriba y abajo elegimos temperatura y pulsamos el botón F/S para aceptar la acción.

- Pulsamos el botón F/S y en la pantalla nos aparezca las letras tP1 (tiempo de la temperatura) y repetimos las acciones anteriores de elección, con Flecha izquierda solicitamos elección y con flecha hacia arriba y abajo elegimos, con botón F/S aceptamos la acción.

- Pulsamos boto F/S en la pantalla nos aparece las letras tS1 (tiempo de sostenido) y repetimos la misma acción de los anteriores pasos para elegir.

- Una vez elegidas y programadas las rampas para la curva de temperatura iniciamos la programación con la flecha hacia arriba ^ sostenida por dos segundos luego se enciende la luz roja del tablero de controles e iniciamos el proceso.

- F/S sostenido X 2 segundos

- USEr

- proG

- F/S “Aceptar”

- F/S sostenido X 2 segundos

- F/S SEG

- F/S tñE

- F/S End 5 “Cantidad de rampas”

- F/S 5ul “Temperatura a programar °c”

- F/S tPl “Tiempo h/minutos

- F/S t5l “Sostenido h/minutos

- Solo hasta cuando el display indique fin de proceso y halla descendido la temperatura en la cámara interna se podrá abrir el horno.

3.5 Flujometro

- Abrir la válvula del tanque
- Abrir la perilla para regular la salida del fluido. (Ver imagen h).

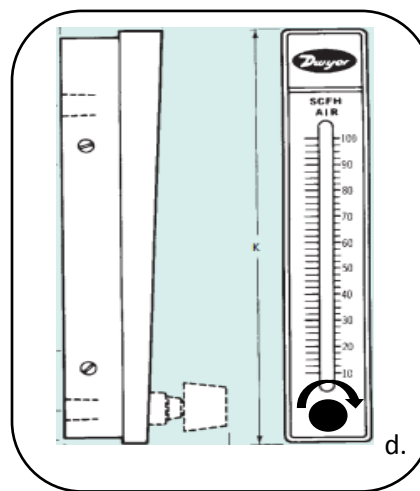


Imagen h

- Esperar a que se mantenga constante la dosificación del fluido.
- Conectar la manguera al tubo de entrada de alcoholes. “Parte2” según tabla de componentes (Ver imagen i).



Imagen i.

** Al finalizar el proceso de cementación, cerrar totalmente la perilla del flujometro y desocuparlo.

3.6 Calentamiento del horno

- Cuando el horno llegue a la temperatura deseada, esta va a ser registrada y mostrada en la pantalla del programador por medio de la termocupla que se encuentra al interior de la recamara. (Ver figura j).



Imagen j.

3.7 Extracción de probetas

Al finalizar la programación del horno, proceder a retirar las probetas por la parte superior del equipo tal como se muestra la figura k.

** Se recomienda utilizar guantes de carnaza reforzados para la extracción.



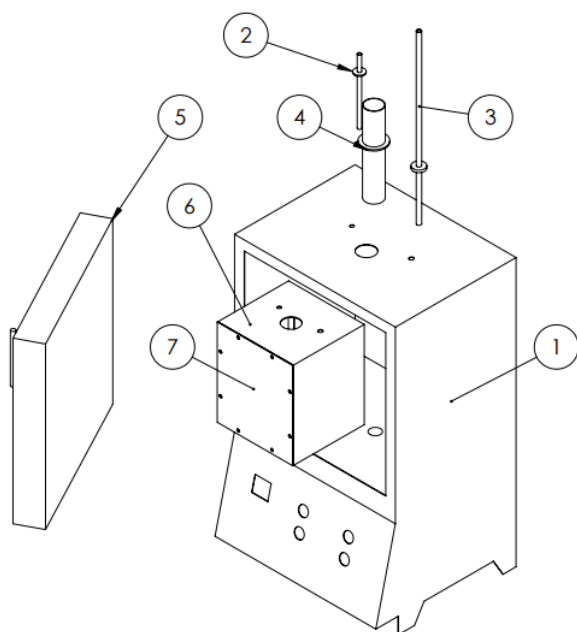
Imagen k.

-Dejar enfriar las probetas según lo requerido para su posterior análisis.

4. Recomendaciones

- Verifique que el Voltaje de Alimentación sea el adecuado. (220V bifásica) y 110v para alimentación del motor.
- La programación del controlador, la debe realizar un operador calificado para evitar que el mismo quede bloqueado. (Consultar Manual de operación del controlador).
- Nunca dejar encendido el equipo sin que esté funcionando el sistema de ventilación. Apagar primero las resistencias luego el ventilador.
- Evitar el contacto con el agua, mantener el equipo en un sitio cubierto con la adecuada ventilación.

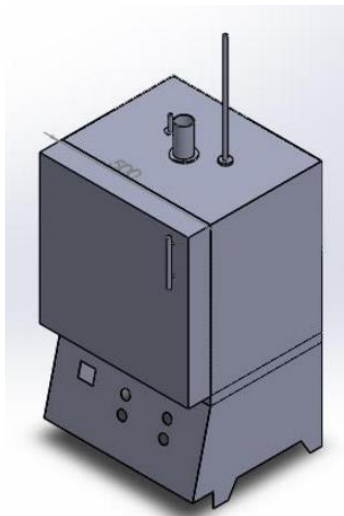
5. Partes principales del horno.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	PLANO No
1	Estructura horno	1	1, 2 Y 9
2	Tubo alcohol	1	3
3	Tubo desfogue	1	4
4	Tubo probetas	1	5
5	Puerta	1	6
6	RECAMARA	1	7
7	TAPA	1	8

**** Favor tener en cuenta el manual de mantenimiento del horno.**

Anexo 5 MANUAL MANTENIMIENTO



HORNO DE CEMENTACION GASEOSA POR GOTEO DE ALCOHOLES

ANDRES SUAREZ
SEBASTIAN QUINTERO
UNIVERSIDAD LIBRE
2017

1. Mantenimiento Preventivo.

- Realizar la limpieza de la cámara interior en caso de que queden partículas o residuos, después de cada proceso y observar que la recámara no presente ninguna fuga o señal de ruptura, si observa alguna anomalía en ellas diríjase al **numeral 2** de este manual.



Imagen 1

Como se observa en la imagen 1 se debe dejar enfriar el horno por completo después de cada proceso y posteriormente abrir el horno y retirar los tornillos de la tapa de la recámara y hacer una limpieza con un paño seco para evitar acumulación de polvo y residuos en la hélice y la recámara.

- Mensualmente se recomienda realizar una revisión general a todas las conexiones eléctricas del horno y motor, para evitar cortos circuitos o que se queme tanto el motor como el controlador que son las partes del horno que se pueden averiar por estas causas.

- Se recomienda siempre antes de iniciar un proceso realizar una revisión del sistema de alimentación de alcoholes previniendo que este no tenga fugas que puedan ocasionar fallas en el proceso.



Imagen 2.

** En caso de encontrar alguna falla como fuga en mangueras o en el tanque consulte el **numeral 2** de este manual.

- Se debe hacer una inspección semanal del estado del empaque de la tapa de la recámara (Imagen 3), en caso de encontrarlo en mal estado consulte el **numeral 2** de este manual.



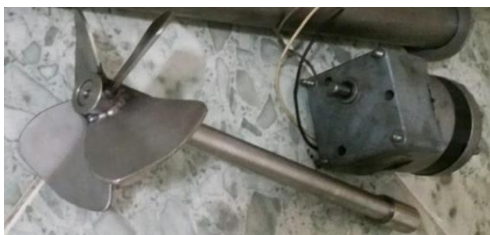
Imagen 3.

- Realice una inspección semestral de las resistencias si observa alguna anomalía en ellas diríjase al **numeral 2** de este manual.



Imagen 4.

- Se recomienda realizar una revisión del motor y la hélice mensualmente, en la cual determine si este funciona correctamente; si observa alguna anomalía en ellas diríjase al **numeral 2** de este manual.



- Siempre que termine de realizar un proceso y el horno este completamente frío revise el estado del ladrillo refractario, si observa alguna anomalía

en ellas diríjase al **numeral 2** de este manual.

2. Mantenimiento Correctivo

- Si encuentra alguna fuga o ruptura en la recámara, diríjase al plano número 7 en el cual encontrara todas sus especificaciones para la fabricación de la misma.

- En caso de mantenimiento electrónico, eléctrico y/o de funcionamiento del horno se recomienda solicitar ayuda a ABAREPHOR LTDA, teléfono 2470722, con el Ing, Humberto Soto.

- En caso de encontrar que el empaque de la tapa de la recámara esta averiado acuda a EMPAMOTOR Cra 27 # 67 - 15 y con el empaque averiado o plano del mismo proceda a mandar a fabricar uno nuevo en el mismo material (Grafito).

- Se recomienda hacer el cambio de las resistencias anualmente, pero en caso de fallas se recomienda solicitar ayuda a ABAREPHOR LTDA, teléfono 2470722, con el Ing, Humberto Soto.

- Si encuentra fallas en el motor o la hélice favor consultar al Ing, Eissas teléfono 7464676 y solicite asesoría.

- En caso de que encuentre fallas o rupturas en el ladrillo refractario se recomienda solicitar ayuda a ABAREPHOR LTDA, teléfono 2470722, con el Ing, Humberto Soto.

- Si encuentra alguna ruptura en la manguera, sustituir por una manguera siliconada de 6mm de diámetro.

ANEXO 6
CATALOGO CIA GENERAL DE ACEROS



Cia. General de Aceros S.A.



aing
05

SAE 1020 Y SAE 1045

Aceros ingeniería al carbono



ACERO SAE 1020

DIN CK - 20
UNI C - 20
AFNOR XC - 20
SAE 1020

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Acero al carbono que puede utilizarse en estado cementado, templado y revenido o simplemente en estado calibrado. Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia con una gran tenacidad. Es fácilmente soldable con soplete ó al arco.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.18 0.23	0.3 0.6	0.04	0.05	0.15 0.3

Estado de suministro: Recocido
Dureza de suministro: 150 - 190 HB

PROPIEDADES MECÁNICAS					
Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	441	196	25	45	140 / 180
Normalizado	490 - 588	343	30	55	150
Recocido	441 - 539	294	35	60	130 / 150
Calibrado	539 - 686	441	10	35	180 / 220
Cementado, templado y rev.	686 - 833	441	15	45	-----

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1150	Arena seca
Normalizado	880 - 920	Aire
Recocido	660 - 720	Horno
Cementacion	900 - 930	Horno/agua
Temple capa cementada	850 - 900	Agua
Revenido capa cementada	180 - 240	Aire

APLICACIONES

Se usa principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, clavos para ferrocarril, grapas, etc.



SOLDADURA

Este acero se puede soldar fácilmente, se recomienda soldadura A.W.S clase E-6010, E-6011, E-6013 de la American Welding Society.

ACERO SAE 1045

DIN CK - 45
UNI C - 45
AFNOR XC - 45
SAE 1045

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Estado de suministro: Recocido

Dureza de suministro: 160 - 200 Brinell

PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

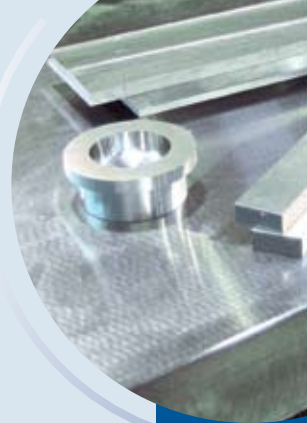
- Densidad → 7.85 gr/cm³.
 - Módulo de elasticidad → 2 x 10¹¹ Pa (24 x 10⁶ PSI).
 - Conductividad térmica → 52 W/(m·°C).
 - Calor específico J/(Kg·°K) → 460
 - Coefficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):
a 32°F = 16.2
a 212°F = 22.3
 - Coefficiente de dilatación térmica / °C
(20 - 100°C) 12.3 x 10⁻⁶
(20 - 200°C) 12.7 x 10⁻⁶
(20 - 400°C) 13.7 x 10⁻⁶

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO			
Diámetro de la barra: 12 a 38 mm			
Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

**PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN ACEITE
- REDONDO DE 25 MM**

(Temple en aceite desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)

Temperatura de revenido °C	Resistencia a la tracción MPa	Punto de Fluencia MPa	Elongación (en 50 mm) %	Reducción de área %	Dureza Brinell (3000 Kg.)
320	965	655	11	34	278
430	875	621	15	39	257
540	793	558	18	45	228
650	703	482	23	51	203
705	641	462	25	55	195

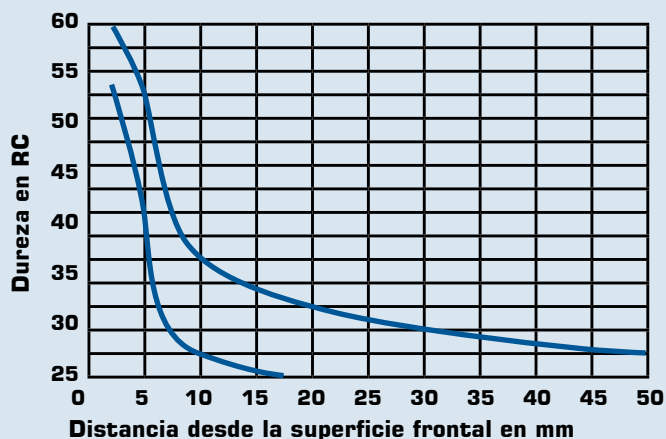


PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN AGUA - REDONDO DE 25 MM

(Temple en agua desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)

Temperatura de revenido °C	Resistencia a la tracción N/mm²	Punto de Fluencia N/mm²	Elongación (en 50 mm) %	Reducción de área %	Dureza Brinell (3000 Kg.)	Impacto Izod ft - lb
320	1034	786	8	33	313	15
430	965	731	13	43	281	24
540	827	621	19	52	242	38
650	717	503	24	60	210	61
705	669	455	27	62	198	70

BANDA DE TEMPLABILIDAD



TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Arena seca
Normalizado	856 - 900	Aire
Recocido total	815 - 885	Horno
Recocido posterior al trabajo en frío	595 - 662	Horno luego aire
Temple (*)	815 - 870	Agua - aceite
Revenido		Aire

* El enfriamiento en aceite minimiza la deformación sin garantizar la máxima dureza.

Hasta 12 mm de diámetro con enfriamiento en aceite se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza.

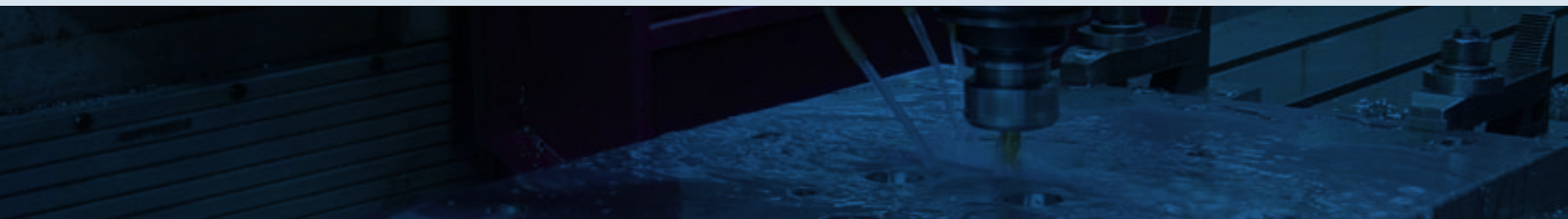
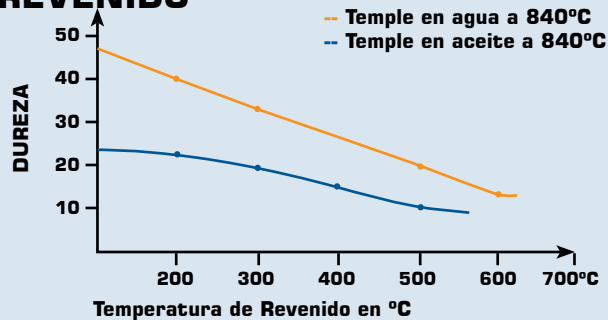


DIAGRAMA DE REVENIDO



El tiempo de sostenimiento a esta temperatura es de 1 hora + 1 hora por pulgada de espesor o diámetro de la pieza. Posteriormente se enfría en el horno o al aire.

MAQUINABILIDAD

Puede ser mecanizado fácilmente en estado recocido, normalizado o templado, tomando como referencia al 12L14 (100% de maquinabilidad). El acero 1045 presenta la siguiente maquinabilidad:

En estado calibrado = 55%

En estado recocido = 68 - 70%

Este acero presenta un buen acabado superficial y su mecanizado se caracteriza por presentar una larga vida útil de la herramienta de corte.

TORNEADO					
PROFUNDIDAD DE CORTE mm	ACERO RÁPIDO		HERRAMIENTA DE CARBURO		
	Velocidad m/min	Avance mm/rev	Soldado velocidad m/min	Insertado velocidad m/min	Avance mm/rev
Dureza, 125 a 175 HB					
1	43	0.18	140	180	0.18
4	35	0.40	110	140	0.50
8	27	0.50	85	110	0.75
16	11	0.75	67	85	1.00
Dureza, 175 a 225 HB					
1	40	0.18	130	160	0.18
4	30	0.40	100	125	0.50
8	26	0.50	78	100	0.75
16	20	0.75	60	78	1.00

CONFORMABILIDAD

SAE 1045 puede ser conformado fácilmente en caliente a temperaturas entre 980 y 1230°C. Este material no debe ser deformado en frío extensivamente sin realizar recocidos intermedios. Un recocido subcrítico será suficiente excepto cuando un trabajo severo en frío ha de ser seguido por más trabajo en frío en cuyo caso se requiere de un recocido total.

SOLDABILIDAD

El acero SAE 1045 esta cerca al límite superior de aceros con porcentaje de carbono que pueden ser soldados satisfactoriamente por todos los métodos comunes. Sin embargo, precalentamiento y postcalentamiento pueden ser necesarios en función del espesor. Usualmente hay menos necesidad de precalentamiento y postcalentamiento con procesos de soldadura con gas que con métodos de soldadura por arco debido a que el proceso de soldadura por gas genera una zona afectada por el calor

mayor que el proceso de arco eléctrico y por tal razón el enfriamiento es más lento. Se recomienda el uso de electrodos de bajo hidrógeno.

DATOS DE IMPACTO							
Templado al agua y revenido a 870°C							
Dureza Brinell	Probeta Charpy (entalla en V), Joules, realizado a diferentes temperaturas						
	- 73°C	- 45°C	- 18°C	10°C	40°C	65°C	95°C
225	7 - 15	11 - 20	27 - 40	51 - 65	55 - 70	63 - 74	70 - 81
300	----	8 - 12	10 - 16	13 - 24	19 - 36	27 - 40	36 - 47

APLICACIONES

Este acero de medio carbono se usa cuando la resistencia y dureza obtenidas por el tratamiento térmico o por deformación en frío, son suficientes para satisfacer las condiciones de servicio requeridas.

Es ampliamente utilizado en la industria automotriz (productos forjados y estampados). Se usa en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como: manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales, ejes de maquinaria de resistencia media, piezas de armas, cañones de fusiles, espárragos, barras de conexión, tornillería grado 5, pernos de anclaje, fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas de todo tipo como: hachas, azadones, rastrillos, picas, martillos, palas, barretones, llaves, etc.

ACERO SAE 1045 EN PLACA

Estado de suministro: Normalizado

Dureza de suministro: 175 - 200 HB

Acabados: Laminado en caliente (negro), premaquinado, rectificado

Cía. General de Aceros (C.G.A.) cuenta con una gama amplia de espesores de productos laminados en acero SAE 1045 que permite satisfacer sus necesidades de placas, discos, anillos y cortes especiales hasta espesores de 254 mm.

Para minimizar los sobre costos de consumo de sus herramientas durante el mecanizado, C.G.A. realiza a los productos oxicortados en placa 1045 una homogenización de dureza (ya que el proceso de corte en caliente altera las propiedades en la zona afectada por el calor) garantizándole una adecuada maquinabilidad.

Con la filosofía de disminuir tiempos de fabricación en su taller y aumentar la competitividad de su negocio, C.G.A. ofrece productos oxicortados con servicio adicional de premaquinado (caras y cantos) y rectificado plano con tolerancias acordadas previamente. Consulte a nuestros asesores para definir su mejor alternativa.

SUCURSALES C.G.A.

BARRANQUILLA

Vía 40 No. 51 - 444 PBX: 3444 188/3720 222 Fax: 3443 328/3720 220

MEDELLÍN

Calle 32 No. 41 - 139 Itagüí PBX: 3724 500/3738 111 Fax: 2776 088

CALI

Cra. 31A No. 15 - 59 Acopi - Yumbo PBX: 6918 585 Call Center: 6918 586 Fax: 6658 593

BUCARAMANGA

Cra. 14 No. 23 - 02 PBX: 6337 708/8323 Fax: 6332 779

PRINCIPAL BOGOTÁ D.C.

Av. 68 No. 37B - 51 Sur PBX: 7700 560 Fax: 7700 530/550
Call Center: 7700 590 - Línea de Servicio al Cliente: 7700 543

www.cga.com.co - e-mail: aceros@cga.com.co